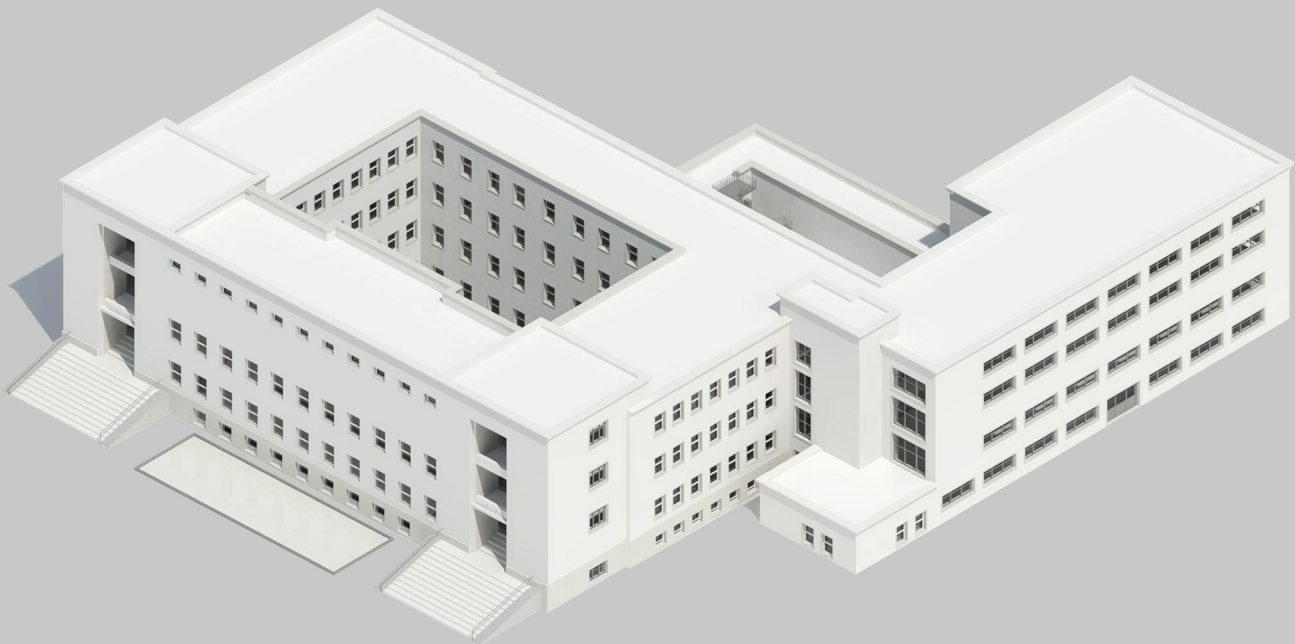




Saverio Nicastro

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



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

Abstract

This research analyzes the systems of Building Information Modeling from the point of view of the disciplinary field of Drawing; after outlining the state of the art and the theoretical foundations underlying the BIM systems, the research investigates the consequences of their integration into the processes of survey, communication and management of the existing architectural heritage. Notwithstanding the potential of Historical-BIM systems, some difficulties remain and they are linked to the rigidity of modeling with digital objects that contrast with the uniqueness of the built environment, especially if of cultural interest.

Through the application on the case study of a work by Michelucci, the Institute of Mineralogy and Geology in Rome, the research focuses on defining strategies and methodologies that are valid and consistent for the implementation of BIM processes in consolidated methodologies of integrated survey. In the complex transition from a numerical model of reality to a geometric and semantic-aware one, the research underscores the need to measure and explicit the reliability level of critical analysis' processes, which are inevitably subjective. In order to arrive at a synthetic numerical evaluation that can represent the level of overall coherence of the definition process of a digital object, the Level of Reliability is calculated as the result of an average of several factors with varying influence. Given the need to ensure transparency and intellectual rigor in every activity on Cultural Heritage, the intuition is to introduce and codify in BIM environment a new parameter: the Level of Reliability of the geometric translation process and of the semantic structuring of digital objects.

In copertina elaborazione grafica a cura dell'autore del modello informativo costruito in ambiente BIM dell'Istituto di Mineralogia e Geologia di G. Michelucci nella città universitaria di Roma, 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- SSD ICAR/17

Tesi di Dottorato di Ricerca - Ciclo XXX - 2014/2017

Dott. Saverio Nicastro

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



Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo

Copyright Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Roma 2015

Tutti i diritti sono riservati:

nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcun modo (compresi fotocopie e microfilm) senza il permesso scritto del dottorando di ricerca in "Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura"

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

Dottorato in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

Coordinatore prof.ssa Donatella Fiorani

Sezione B - Disegno dell'Architettura

Responsabile prof.ssa Laura Carnevali

Collegio del Dottorato, XXX ciclo, 2014/15-2016/17

ICAR/17 - Disegno

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

ICAR/18 - Storia dell'Architettura

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

ICAR/19 - Restauro dell'Architettura

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

Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo

Sede centrale di coordinamento

Sapienza Università di Roma

Direttore

prof.ssa Laura Carnevali

<i>Dottorando</i> Saverio Nicastro
<i>Responsabile Sezione B - Disegno dell'Architettura</i> prof.ssa Laura Carnevali
<i>Tutor</i> prof. Carlo Bianchini

Presentazione della ricerca

Tracciato un breve excursus sull'evoluzione delle tecnologie digitali a servizio della rappresentazione architettonica, la ricerca analizza dal punto di vista dell'ambito disciplinare del Disegno i sistemi di Building Information Modeling. Delineato lo stato dell'arte, sia nell'ambito della pratica professionale che della ricerca accademica, e analizzati i fondamenti teorici alla base dei sistemi BIM, la ricerca indaga le potenzialità e gli aspetti critici conseguenti la loro integrazione nei processi di rilievo, comunicazione e gestione del patrimonio architettonico esistente. Il potenziale dei sistemi di Historical Building Information Modeling è innegabile, ma sono evidenti le difficoltà legate alla rigidità della modellazione parametrica per oggetti digitali che contrasta con la variabilità, l'unicità e le specificità materiche, storiche e costruttive dell'ambiente costruito, specie se di interesse storico-culturale. Nella ricerca si riflette sull'estensione del concetto di modello virtuale determinato dall'avvento dei sistemi BIM, sulle possibilità di stratificare e sistematizzare la conoscenza attraverso tali modelli multidimensionali, da intendersi come i Sistemi Informativi Localizzati delineati nella Carta del Rilievo Architettonico. La ricerca più speculativa è bilanciata continuamente mediante saggi applicativi su un caso studio concreto, l'Istituto di Geologia e Mineralogia di Michelucci all'interno della città universitaria di Roma; attraverso l'applicazione sul caso studio, infatti, la ricerca si concentra sulla definizione di strategie e criteri metodologici, validi e coerenti, per l'implementazione dei processi BIM nelle metodologie consolidate di rilievo integrato, ad oggi principalmente basate sulle tecnologie di acquisizione massiva dei dati. Nel complesso passaggio da un modello numerico della realtà ad un modello geometrico della stessa, strutturato in ambiente BIM anche a livello semantico, si è ritenuto fondamentale riflettere sulla necessità di misurare ed esplicitare il livello di affidabilità degli oggetti digitali, risultanti tutti da processi di analisi e rielaborazione critica inevitabilmente soggettivi. Dalla vaghezza degli standard in ambito H-BIM, e dalla necessità di trasparenza delle attività sul Patrimonio Culturale, è nata l'intuizione di introdurre e codificare in ambiente BIM un nuovo parametro, il *Level of Reliability*, per garantire il rigore scientifico dei metodi e dei risultati derivanti dall'applicazione dei sistemi BIM ai processi di conoscenza del Patrimonio Culturale. Nel processo di traduzione geometrica e strutturazione semantica degli elementi, la codifica del nuovo parametro tiene conto sia della rispondenza geometrica che dell'affidabilità ontologica del modello rispetto alla realtà che intende descrivere. La codifica di un set di parametri condivisibili dalla comunità scientifica per la definizione puntuale del *Level of Reliability* degli oggetti digitali viene delineata come un'operazione determinante, sia nella fase operativa che nella fase di divulgazione, per accrescere la validità scientifica e la trasparenza dell'applicazione dei sistemi BIM al Patrimonio Culturale. Al fine di giungere ad una valutazione numerica di sintesi che possa rappresentare il livello di coerenza globale del processo di definizione di un oggetto digitale, il *Level of Reliability* dovrà essere il risultato di una media ponderata tra fattori differenti, più o meno influenti nel processo anche a partire dalla finalità principale per cui si è scelto di elaborare un modello informativo del manufatto architettonico in esame. L'attribuzione del *Level of Reliability* potrà forse rappresentare quella necessaria premessa metodologica che può fare dei sistemi di Building Information Modeling uno strumento molto valido nella processualità del conoscere, favorendo, supportando e implementando quei meccanismi consolidati che consentono la graduale e profonda conoscenza di un manufatto architettonico, anche di interesse culturale, e l'eventuale progettazione degli interventi volti alla sua conservazione e valorizzazione. La tesi si conclude delineando possibili interessanti scenari di sviluppo della ricerca, in particolare nell'ottica di un arricchimento dei processi consolidati di rilevamento, catalogazione e documentazione del patrimonio esistente e sulla "rappresentabilità" dei dati di natura non solo geometrica costituenti i database relazionali in ambiente BIM.

*Desidero ringraziare il professor Carlo Bianchini per i preziosi
suggerimenti forniti nel corso della stesura della tesi,
e per aver accolto con grande entusiasmo il tema di ricerca.
Ringrazio i docenti e i colleghi, il costante confronto con i quali
è stato fondamentale, in particolare A. C. D. E. F. G. H. R. M. M..
Ringrazio la mia famiglia, per l'immane supporto in ogni
scelta, e in particolare mio padre che, con poche e semplici
parole, mi ha trasmesso la voglia di guardare con curiosità
sempre nuova ai diversi aspetti del fare architettura.
Ringrazio Raffaella, per aver condiviso e sostenuto i miei
progetti con amore e tenacia.*

Indice

1. Introduzione

1.1 La rivoluzione del <i>Building Information Modeling</i>	9
1.2 Le ragioni dell'interesse sul BIM dell'ambito disciplinare del Disegno	12
1.3 Stato dell'arte: i processi BIM nella pratica professionale e nella ricerca accademica	14
1.4 Una bibliografia in continua evoluzione: l'importanza del dibattito fra gli studiosi	18
1.5 Cenni sul quadro normativo: le peculiarità della norma UNI 11337:2017 nel panorama italiano	19
1.6 Gli obiettivi di interoperabilità, sostenibilità e accesso nei processi BIM-oriented	23

2. Il Building Information Modeling nell'ambito del patrimonio esistente

2.1 I processi di <i>Historical-BIM</i> : ambito di interesse e obiettivi della ricerca	29
2.2 L'approccio consapevole al metodo BIM: riflessioni e premesse teoriche della ricerca	32
2.2.1 Modellare, costruire, conoscere	32
2.2.2 La definizione ontologica dei BIM-object nella strutturazione semantica del modello	36
2.2.3 I requisiti di intelligenza e trasparenza nella modellazione in ambiente BIM	37
2.3 I nuovi flussi di lavoro BIM-oriented: aspetti metodologici della ricerca	39

3. Il caso studio dell'Istituto di Geologia e Mineralogia in Roma

3.1 L'opera di Giovanni Michelucci nel contesto della Città Universitaria di Roma	45
3.2 La conoscenza in ambiente H-BIM del patrimonio culturale architettonico del '900	48
3.3 Le fasi di rilevamento integrato dell'Istituto	52
3.4 L'analisi preliminare e l'elaborazione critica dei dati con approccio BIM-oriented	52
3.5 L'impostazione del modello informativo, premesse metodologiche e strategie operative	59
3.6 La modellazione ottimizzata dei BIM-object, dal continuum del reale al modello informativo	64
3.7 La personalizzazione delle funzionalità e degli automatismi degli applicativi in ambito H-BIM	70

3.7.1 La gestione avanzata dei collegamenti esterni per la comprensione del manufatto	70
3.7.2 L'evoluzione concettuale ed operativa delle funzionalità 4D in ambiente H-BIM	73
3.7.3 Il controllo degli automatismi di output grafico	75

4. Opportunità e aspetti critici nei processi H-BIM: la questione dell'affidabilità

4.1 L'influenza del BIM sui processi di rilievo e di conservazione del Patrimonio Culturale	83
4.2 L'evoluzione delle strategie per la verifica e il controllo dei modelli informativi	87
4.3 L'esplicitazione del <i>Level of Reliability</i> : un contributo alla trasparenza dei processi H-BIM	90
4.3.1 Rigore scientifico e responsabilità intellettuali nella traduzione BIM-oriented del reale	92
4.3.2 L'inadeguatezza in ambito H-BIM dei parametri standard	92
4.3.3 L'introduzione del <i>Level of Reliability</i> nell'applicazione del BIM al patrimonio esistente	95
4.3.4 La codifica di parametri condivisibili per una possibile misurazione del LOR	97
4.3.5 Il <i>Level of Reliability</i> e la gradualità dei processi di conoscenza "profonda"	100

5. Conclusioni e scenari di sviluppo della ricerca

5.1 Verso modelli informativi "ibridi" per la trasparenza dei processi di conoscenza	105
5.2 L'evoluzione BIM-oriented dei processi di conoscenza, documentazione e comunicazione del Patrimonio Culturale	108
5.3 Il ruolo del Disegno nella rivoluzione BIM	113

Bibliografia

Riferimenti bibliografici	117
Riferimenti web	124

1. Introduzione

1.1 La rivoluzione del Building Information Modeling

Negli ultimi anni, la diffusione delle tecnologie digitali ICT (*Information and Communications Technology*) ha rivoluzionato il mondo dell'architettura, modificando radicalmente il modo di lavorare, di produrre documenti, di comunicare e di scambiare informazioni; dall'introduzione dei primi *software* CAD di *computer-aided design* ad oggi, lo sviluppo delle tecnologie digitali per la rappresentazione dell'architettura è stato incredibile, sia nell'ambito della progettazione, che in quello del rilievo e delle attività sul patrimonio architettonico esistente. Osservando la storia recente dell'evoluzione delle tecnologie digitali a servizio della rappresentazione architettonica, si può affermare che, per quanto importante, il primo passaggio dal disegno su carta al *computer-aided design* implicò notevoli cambiamenti, radicali dal punto di vista operativo ma meno significativi dal punto di vista teorico; ovvero, nel trasporre in digitale le tecniche usuali di rappresentazione, per il disegno cambiava il supporto ma non la funzione intrinseca (Bianchini et al., 2016a, p.10.2). Lo spazio cartesiano del modello CAD si trasformava infatti in un tavolo da disegno pressoché infinito, sebbene «il disegno non era più realizzato mediante un modello tracciato in scala ridotta su carta, ma era strutturato numericamente all'interno della memoria del calcolatore con una precisione analitica» (Mingucci et al., 2012, p. 69); ciò nonostante, già allora ma con un approccio più evoluto, era possibile sfruttare le potenzialità di questi primi sistemi CAD integrando e condividendo informazioni ulteriori attraverso una rappresentazione grafica per simboli.

Nel corso degli anni Sessanta, le industrie automobilistiche, navali ed aerospaziali avevano colto i vantaggi che potevano derivare dall'uso del CAD, in termini di maggiore rapidità di elaborazione e rielaborazione dei progetti, di

riduzione degli errori e di avanzamento dell'automazione in fabbrica; il mondo delle costruzioni non colse immediatamente le opportunità offerte dai nuovi strumenti, e cominciò ad adottare i sistemi CAD solo nella seconda metà degli anni Settanta, progressivamente, col calare dei costi e con l'avvento dei *personal computer*. Contemporaneamente all'affinamento dei *software* di *computer-aided design*, le cui funzionalità crebbero a fronte di una semplificazione dei meccanismi di interazione con l'utente, la ricerca continuò sul fronte degli applicativi per la modellazione tridimensionale che, sebbene anch'essi sviluppati in ambito industriale, rappresentarono poi l'effettiva rivoluzione una volta introdotti nel campo della rappresentazione architettonica. Dai primi *software* di modellazione tridimensionale per superfici o in *wireframe*, la ricerca si concentrò sulla modellazione tridimensionale solida in cui il modello, simulando la geometria reale, aveva già «coscienza del pieno e del vuoto, con la possibilità di calcolare volumi e proprietà di massa, ricavare sezioni, riconoscere interferenze, etc» (Mingucci et al., 2012, p. 69).

Lungi dall'elencare tutti i cambiamenti intervenuti nel mondo della rappresentazione architettonica e della progettazione in seguito alla diffusione degli applicativi per la modellazione tridimensionale, basti pensare alla possibilità di studiare e gestire più facilmente la geometria di forme complesse, di governare nello spazio la genesi e lo sviluppo di composizioni architettoniche anche molto ardite, nonché di prefigurare, attraverso processi di visualizzazione digitale (*rendering*), la percezione della consistenza formale e materica di tali visioni architettoniche. Nell'ambito del rilievo, le nuove tecnologie di acquisizione massiva e dei sistemi informatici sviluppati per l'elaborazione di grandi quantità di dati¹, sono state integrate nelle metodologie consolidate di rilevamento, così da aprire nuovi percorsi di ricerca e permettere il raggiungimento di risul-

tati prima impensabili per la conoscenza del Patrimonio Culturale, “primo livello di salvaguardia” dello stesso².

Lo sviluppo di tecnologie digitali per la gestione e lo scambio dati, inizialmente messe a punto in ambiti estranei al mondo dell'architettura, nonché lo sviluppo di tecnologie per la modellazione tridimensionale solida e parametrica, sono alla base della nascita dei sistemi di *Building Information Modeling*, la cui introduzione è da molti considerata come la nuova rivoluzione nel mondo dell'architettura. Il *Building Information Modeling* può considerarsi come il traguardo più recente di un percorso che prende le mosse dai primi formati grafici elettronici, sviluppati negli Stati Uniti in ambiti universitari, già nella seconda metà degli anni Cinquanta; basti pensare che, già nel 1962, veniva presentato un *software*, sviluppato al MIT Massachusetts Institute of Technology di Boston da Ivan E. Sutherland e battezzato con il nome di *Sketchpad* (fig. 1.1), che rappresentava un primo strumento per tracciare primitive geometriche su uno schermo, per mezzo di una penna ottica. Il primo importante passo verso la gestione di figure solide tridimensionali è però del 1973, con tre distinte ricerche a Cambridge, Stanford e Rochester che diedero il via alla prima generazione di *software* per la modellazione solida. In questo contesto, una prima descrizione del concetto di “modello virtuale” di un edificio può considerarsi quella



Fig. 1.1 – Ivan Sutherland a lavoro con il software *Sketchpad* sul sistema MIT TX-2, 1962.

che fu proposta in una nota pubblicazione del 1974 da Charles M. Eastman³, relativamente ad una ricerca, sviluppata alla Carnegie-Mellon University di Pittsburgh, nella quale gli autori delineavano un sistema descrittivo per gli edifici, definendolo BDS, ovvero un applicativo basato su una libreria di elementi componibili per la costruzione del modello di un edificio (Eastman et al., 1974). Le riflessioni delineate in quell'occasione, vennero successivamente riprese e precisate dallo stesso Eastman, riconosciuto oggi tra i pionieri del *Building Information Modeling*, in un altro famoso articolo, apparso nel 1975 sulla prestigiosa rivista americana “A.I.A. Journal” con il titolo *The use of computer instead of drawings in building design*, nel quale si introduceva proprio il concetto di *Building Information Modeling* e l'ormai celeberrimo acronimo BIM. Altro momento cruciale nel processo di evoluzione che ha portato al BIM, è senz'altro rappresentato dall'introduzione della modellazione parametrica ad oggetti, collocabile intorno alla seconda metà degli anni Ottanta, e sviluppata principalmente per far fronte alle esigenze del mondo automobilistico e aeronautico di lavorare con macchine a controllo numerico adatte alla fabbricazione di stampi per forme complesse. Dato che tali strumenti si riveleranno adeguati anche per modellare le forme altrettanto complesse dell'architettura contemporanea (sono gli anni della corrente architettonica cosiddetta del Decostruttivismo), è in questo scenario che nascono e si sviluppano alcune delle più note aziende produttrici di *software* come Autodesk, Bentley, Graphisoft o Nemetschek, tutt'oggi leader nel mercato internazionale, che iniziano a realizzare i propri prodotti *software*, ciascuno con specifiche caratteristiche, ma tutti sostanzialmente orientati alla rappresentazione grafica del progetto.

In estrema sintesi, la modellazione in ambiente BIM avviene direttamente nello spazio virtuale tridimensionale, attraverso la costruzione di un modello multidimensionale, complesso ma da intendersi come composizione di elementi più semplici, definiti sia dal punto di vista geometrico che, soprattutto, dal punto di vista semantico. Il modello virtuale generato tramite le piattaforme cosiddette di BIM *authoring*, si basa pertanto sulla definizione parametrica, e sulla successiva composizione ragionata, di

“oggetti digitali” di diversa tipologia, sistematizzati nei diversi applicativi in quelle che si definiscono “librerie”, a disposizione dell’operatore ed implementabili⁴; tali elementi “intelligenti”, spesso corrispondenti a prodotti edilizi commerciali o presenti di *default* come primitive nei diversi applicativi, possono essere personalizzati singolarmente definendone le geometrie in modo parametrico e, soprattutto, possono essere combinati, attraverso vincoli e associazioni, ad altri elementi o a specifici riferimenti spaziali quali griglie, piani o livelli di riferimento. Oltre la geometria degli elementi, parametrica e non, nella modellazione in ambiente BIM possono essere definite ed attribuite agli oggetti digitali numerose altre informazioni (semantiche, fisiche, prestazionali, funzionali, di comportamento grafico, ...), che rendono il modello, nel suo essere tramite tra la realtà e la sua rappresentazione, un efficace sistema di accumulo e stratificazione della conoscenza, nonché un potente strumento di simulazione e verifica del progetto. Al variare di un elemento intelligente, infatti, gli altri oggetti digitali ad esso associati si aggiorneranno di conseguenza per caratteristiche, dimensioni, forma e posizione nello spazio così come, al variare di un vincolo o di un riferimento spaziale imposto dall’operatore, sia esso una griglia, un piano generico o un livello di riferimento, l’intero modello subirà le variazioni conseguenti, con comprovati vantaggi nella produttività dal punto di vista dell’ottimizzazione dei tempi di lavoro e della prevenzione degli errori e delle cosiddette interferenze. Attraverso l’impostazione di parametri specifici, “filtri” e regole di *output* grafico, è possibile gestire in ambiente BIM le diverse viste del modello virtuale nonché estrapolare dallo stesso innumerevoli elaborati grafici o visualizzazioni digitali, in proiezione prospettica o parallela. Inoltre, dato che la maggior parte degli applicativi BIM può interfacciarsi con i *software* CAD più diffusi⁵, è comunque garantita all’operatore la possibilità di intervenire a posteriori sugli elaborati grafici, generati in modo semi-automatico dal sistema, così da poterli editare e personalizzare. Relativamente alla rappresentazione del modello, in ambiente BIM, è possibile definire per ogni vista del modello tridimensionale un “riquadro di visualizzazione” che, individuando i piani di sezione ed i limiti di ciò che su que-

sti piani sarà proiettato, consente una gestione agevole di elaborati grafici anche più complessi delle convenzionali piante dei livelli o delle sezioni verticali, quali ad esempio sezioni prospettiche o spaccati assonometrici⁶. L’operazione cosiddetta di “messa in tavola”, nei più recenti *software* BIM, è ormai abbastanza raffinata e personalizzabile, e consente un controllo veloce, in gran parte automatico, delle diverse scale di rappresentazione (non a caso si parla infatti di modelli “multiscalar”) e del conseguente livello di dettaglio delle singole visualizzazioni del medesimo modello virtuale.

Con le dovute cautele, appare sempre più vicino l’ambizioso obiettivo del settore delle costruzioni di utilizzare un unico modello virtuale, sia per la rappresentazione architettonica, che per l’esecuzione di simulazioni temporali, di analisi prestazionali, di verifiche di interferenza interdisciplinare, nonché per l’elaborazione di *rendering* e visualizzazioni digitali tematiche. Tale ambizioso obiettivo, è certamente legato alla cosiddetta “multidimensionalità” del modello informativo (fig. 1.2), ovvero al fatto che, alle tre

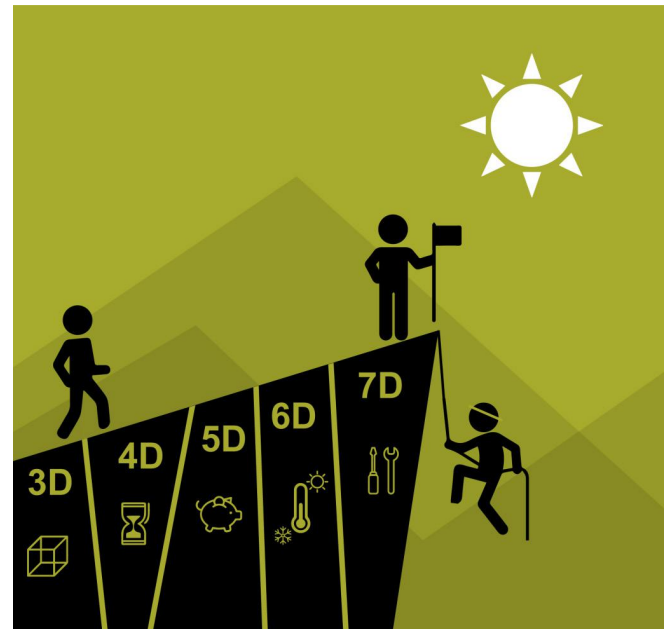


Fig. 1.2 – Le “sette dimensioni” gestibili tramite sistemi di Building Information Modeling in un’immagine tratta dal web.

dimensioni di un modello geometrico, in ambiente BIM si possano gestire ben altre informazioni volte a governare ulteriori variabili dimensionali⁷, una fra tutte il tempo nelle sue svariate accezioni. Ad esempio, in ambiente BIM, è possibile stabilire delle fasi temporali personalizzate, assegnare ai componenti del modello una collocazione temporale, impostare dei “filtri” per la gestione e l’analisi degli oggetti digitali e delle attività, nonché visualizzare il modello secondo le suddette fasi temporali, esplicitate tutte nel medesimo *database*, creando pertanto una linea temporale navigabile.

In conclusione, utilizzare un sistema di *Building Information Modeling* nello sviluppo di un progetto o nelle attività per il rilievo e l’intervento su un manufatto architettonico esistente, presuppone un’estensione del concetto stesso di modello tridimensionale, non solo perché la modellazione in ambiente BIM è principalmente di tipo parametrico, ma anche e soprattutto perché il modello virtuale diventa un contenitore di numerose informazioni (modello informativo), strutturate sia a livello geometrico che a livello semantico, tramite ontologie; i sistemi BIM vanno pertanto intesi come strumenti basati sull’interazione di *database* relazionali in grado di raccogliere, governare e visualizzare, sotto diverse forme di rappresentazione, dati e informazioni di diversa natura, riguardanti l’intero ciclo di vita del manufatto in oggetto, sia esso esistente o nella fase di progettazione. Son già queste alcune delle motivazioni per le quali, lungi dall’assumere quell’atteggiamento di cieca fiducia nei vantaggi offerti dall’introduzione dei processi BIM, che sembra aver contagiato l’industria delle costruzioni e in parte la ricerca accademica nell’ambito della Tecnologia dell’Architettura, si ritiene interessante e necessario affrontare lo studio dei sistemi di *Building Information Modeling* dal punto di vista dell’ambito disciplinare del Disegno; e con particolare riferimento al panorama italiano, considerando il suo immenso Patrimonio Culturale costruito e il suo tipico tessuto edilizio, la ricerca intende concentrarsi sui processi di *Historical Building Information Modeling*, noti con l’acronimo H-BIM⁸, che consistono nell’applicazione del metodo BIM nell’ambito del rilievo per la conoscenza, la comunicazione e la gestione del patrimonio costruito a carttere storico.

1.2 Le ragioni dell’interesse sul BIM dell’ambito disciplinare del Disegno

Se è vero che la nascita dei sistemi di *Building Information Modeling* è principalmente legata al miglioramento dei processi produttivi nel mondo delle costruzioni, è normale che, in prima battuta, tale tematica possa essere considerata estranea all’ambito disciplinare del Disegno. Le ragioni che contraddicono la pregiudiziale estraneità del tema del BIM all’area della rappresentazione architettonica sono però molteplici; non a caso, negli ultimi anni, molti sono gli studiosi e i gruppi di ricerca del settore ICAR17 che hanno scelto di confrontarsi con tale controversa tematica, con approcci e obiettivi diversi ma con un comune substrato culturale. Oggi, attraverso gli applicativi BIM, le possibilità di controllo degli interventi progettuali crescono continuamente, anche in riferimento alle possibilità di rappresentazione e gestione degli innumerevoli dati multidisciplinari insiti nel modello informativo. Attraverso la conduzione di un’applicazione sperimentale su un caso studio significativo, e attraverso l’analisi di altre ricerche parallele in corso, nella ricerca di tesi si è cercato di chiarire le questioni teoriche che ancora oggi determinano nei ricercatori dell’ambito disciplinare del Disegno uno scetticismo generale nei confronti dei sistemi di *Building Information Modeling*; nel considerare erroneamente le potenzialità di tali sistemi solo dal punto di vista gestionale, infatti, ad oggi non si è ancora compreso quanto il “passaggio dal CAD al BIM” sia cruciale per ragioni di natura non solo tecnicistica o di convenienza economica, bensì culturali.

Le questioni teoriche controverse legate al tema del BIM sono diverse e, soprattutto nell’ambito dell’applicazione di tali sistemi al patrimonio esistente, sono particolarmente delicate; nei processi H-BIM, infatti, l’operatore è in un certo senso “costretto” a definire attraverso la modellazione particolari conformazioni del manufatto architettonico, oltre le superfici visibili e direttamente misurabili dello stesso, spingendosi in un campo spinoso per le immaginabili implicazioni teoriche. Inoltre, nel processo di conoscenza della realtà attraverso la modellazione parametrica e informativa, la ricerca nel nostro ambito disciplinare

dovrà affrontare tanto i rischi connessi ad un'eccessiva "semplificazione della realtà" quanto, di contro, l'erronea convinzione di poter tradurre in ambiente H-BIM tutti gli innumerevoli aspetti, di singolarità e di unicità, che caratterizzano il patrimonio esistente, specie se di interesse storico-culturale; processi che perseguano questo difficile obiettivo, data l'evidente "aporia tra standardizzazione e unicità" (Bianchini et al., 2016a, p.10.4), richiederebbero infatti uno sforzo immane, in contraddizione con gli obiettivi di produttività ed efficienza che sono proprio alla base della nascita dei sistemi di *Building Information Modeling*. Coscienti del substrato culturale proprio del settore ICAR17, nel corso della ricerca di tesi, si è cercato costantemente di rapportare le riflessioni maturate sull'introduzione dei sistemi BIM ai principi e ai concetti fondanti dell'ambito disciplinare del Disegno. Ad esempio, nel definire il processo di modellazione in ambiente BIM come una continua operazione di *reverse engineering*, dove l'operatore "scompone" l'unità dell'organismo architettonico nei suoi elementi costitutivi per poi ricostruirla, il richiamo all'analisi grafica di Mario Docci è naturale; aggiornando alla luce della "rivoluzione BIM" le parole del professore sul ruolo del Disegno, che «diviene un vero e proprio strumento di comprensione e quindi mezzo critico», si può affermare che è pertanto possibile «attraverso la modellizzazione del fenomeno, effettuare una serie di osservazioni da diversi punti di vista, tali da far progredire il livello di conoscenza fino a raggiungere una visione completa del fenomeno esaminato» (Docci, 1989). Nel proporre tale parallelo tra il metodo dell'analisi grafica e il *reverse engineering* caratteristico della modellazione in ambiente BIM, uno dei primi obiettivi prefissati dalla ricerca è stato proprio la dimostrazione dell'attualità e della permanenza della forza del Disegno come strumento di analisi critica, nella comprensione della realtà e nella comunicazione del progetto.

Guardando ai sistemi di *Building Information Modeling* strettamente dal punto di vista dell'ambito disciplinare del Disegno, è d'obbligo riflettere sul possibile equivoco che, nell'ambiente virtuale, può generarsi tra simulazione e rappresentazione. I meccanismi di simulazione del reale sfruttano l'intelligenza degli oggetti digitali BIM, consen-

tendo analisi e verifiche tematiche di tipo specialistico, i cui aspetti di "rappresentabilità" sono però tutti molto interessanti da indagare per il nostro settore; i meccanismi di rappresentazione in sé in ambiente BIM, si basano invece sulla definizione di specifici parametri da parte dell'utente il quale può, in misura più o meno significativa, intervenire sulla personalizzazione degli automatismi che, nei diversi applicativi, sono preimpostati di *default* secondo le più comuni (ma un po' "deboli") convenzioni grafiche. In tal senso, non ci si è potuti non interrogare sui rischi connessi ad un eccesso di automatismo nelle rappresentazioni elaborate attraverso questi nuovi sistemi; uno dei compiti del nostro ambito disciplinare, infatti, sarebbe proprio quello di individuare delle strategie per scongiurare la perdita della dimensione autografica nella generazione, pressoché automatica, degli elaborati grafici, nell'ottica di garantire la personalizzazione e la validità dei risultati anche in termini di "espressività".

In accordo con i principali enunciati della "Carta del Rilievo Architettonico" (AA. VV., 2000), in conclusione della quale si legge che «il rilievo di ciascun organismo architettonico va possibilmente concepito in modo da poter essere trasformato in un sistema informativo entro il quale andranno riversate le varie informazioni che nel tempo si potranno accumulare»⁹, gli scenari di sviluppo della ricerca che si aprono sull'integrazione dei sistemi BIM nella conoscenza del patrimonio sono molteplici ed estremamente interessanti. E volendo in un certo senso estendere il campo di indagine, eludendo l'attuale distinzione tra BIM ed *Historical-BIM*, basti pensare che, in un qualsivoglia processo edilizio, la traduzione in ambiente BIM del rilievo dell'esistente (sia esso il semplice sviluppo orografico del sito di costruzione) si configuri come uno dei primi e più importanti passaggi necessari in un processo BIM-*oriented*. Tutto ciò premesso, è innegabile che la ricerca accademica per la definizione e l'affinamento di metodologie di lavoro valide nei sistemi di *Building Information Modeling*, non può restare confinata nell'ambito della Tecnologia dell'Architettura ma deve necessariamente coinvolgere l'ambito disciplinare del Disegno dell'Architettura che dovrebbero assumere un ruolo di guida in questo complesso processo di transizione e digitalizzazione.

1.3 Stato dell'arte: i processi BIM nella pratica professionale e nella ricerca accademica

Dalla fine degli anni Settanta del secolo scorso, con la diffusione dei *personal computer*, il mondo della progettazione, toccato da profondi mutamenti procedurali e tecnologici, si è avvicinato sempre di più alle pratiche della cosiddetta “modellazione informativa”. Il *Building Information Modeling*, fin dalla sua prima teorizzazione delineata da Charles M. Eastman, che lo definisce come «un processo gestionale orientato al coordinamento di attività convergenti nella realizzazione delle costruzioni»¹⁰, è divenuto sempre più maturo in ragione degli avanzamenti tecnologici attuali e può oggi ritenersi un processo gestionale nel quale numerosi “attori” collaborano, coordinando i propri saperi specialistici e le loro esperienze professionali. Finora, la ricerca accademica sui sistemi di *Building Information Modeling* è stata condotta principalmente nell'ambito della Tecnologia dell'Architettura e si è concentrata sull'ottimizzazione dei flussi di lavoro (*workflow*) per la progettazione integrata multidisciplinare e sulla verifica delle ricadute positive assicurate dai sistemi BIM sull'intero processo edilizio in termini di produttività. Sotto l'aspetto gestionale e, in particolare, nell'ambito delle costruzioni di nuova realizzazione, il metodo BIM può ormai vantare basi solide e, soprattutto nei paesi anglosassoni, il passaggio al BIM rappresenta da qualche anno l'obiettivo principe di strategie governative volte a riformare il mondo delle costruzioni nell'ottica di rendere più efficienti i processi di lavorazione edilizi, notoriamente meno controllabili dei processi produttivi di tipo industriale. Fuorviate dalle promesse delle *software house*, dai proclami di rivoluzione lanciati dai diversi operatori del mercato, nonché da fraintendimenti e mistificazioni, ad oggi le ricerche accademiche sviluppate propriamente nell'ambito disciplinare del Disegno sul tema del BIM sono relativamente limitate. Se infatti, è certamente da considerarsi lodevole il lavoro di ricerca e applicazione sperimentale intrapreso, ormai da qualche anno ed in anticipo sui tempi, da alcuni atenei italiani, fra tutti il Politecnico di Torino, è solo di recente che si è cominciato a riflettere sui presupposti teorici per l'impostazione geome-

trica del modello virtuale in ambito *Historical-BIM*, sui processi di traduzione parametrica dei dati di rilevamento che ne sono alla base, sulla strutturazione semantica di tali modelli virtuali informativi, nonché, più in generale, su modalità rigorose e valide di utilizzo dei sistemi di *Building Information Modeling* nel caso di interventi sul Patrimonio Culturale, ben lontani dalle logiche e dai meccanismi di standardizzazione dei processi tipici dell'edilizia *ex novo*. Non è un caso che, anche nel mondo professionale, mentre la progettazione attraverso sistemi BIM è pratica comune in diversi paesi europei ed extra-europei, nel panorama italiano, l'adozione di queste tecnologie stenta ad affermarsi; le ragioni di tale ritardo non sono da attribuire semplicemente alle vaghezze delle normative nazionali in merito, o tanto meno alla pigrizia degli operatori del settore e dei professionisti in Italia. Come è noto, nel tessuto edilizio italiano, le occasioni di costruzione *ex novo* sono rare, e gli interventi architettonici si basano sempre più sul recupero edilizio dell'esistente o sul restauro di beni di interesse culturale, per affrontare i quali con sistemi BIM lo sforzo richiesto è di gran lunga superiore; essendo i sistemi di *Building Information Modeling* nati nei paesi anglosassoni, gli stessi sono stati sviluppati principalmente per la gestione delle costruzioni di nuova realizzazione, dove la standardizzazione e la serialità degli elementi costruttivi ben si sposano con la modellazione parametrica tramite “librerie di oggetti digitali” e la gestione avanzata e multidisciplinare attraverso tali modelli informativi.

Nel parlare di sistemi BIM è bene fare una breve parentesi per precisare che, sul mercato, si possono distinguere tre categorie di applicativi, la prima delle quali comprende quelli di *authoring*, per la creazione effettiva di modelli e quindi per la progettazione nei vari ambiti (architettonico, strutturale, impiantistico, o infrastrutturale). Esistono poi *processing software* o *tools* sviluppati specificatamente per dare supporto alle attività gestionali (contabilità, pianificazione delle attività di cantiere, reportistica, ...), nonché *software* per le attività di cosiddetta *model review*, ovvero per il controllo dei modelli (*model checking*), la verifica di interferenze interdisciplinari nel progetto (*clash detection*) e persino il controllo della rispondenza del progetto a specifiche norme (*code checking*) o regole tec-

niche. Ciò premesso, risulta ancor più evidente quanto il passaggio a nuovi flussi di lavoro *BIM-oriented* implichi una riorganizzazione radicale, tanto delle procedure operative quanto di quelle gestionali; e a giustificare in un certo senso il ritardo italiano nell'adozione dei nuovi sistemi BIM, è quindi anche la necessità di notevoli investimenti in termini di tempi e costi, per l'aggiornamento professionale e la dotazione di nuove strumentazioni, tanto per le figure professionali che per gli enti committenti, pubblici o privati che siano.

Nelle fasi preliminari della ricerca, si è proceduto all'analisi di diverse esperienze, condotte sia in ambito accademico che professionale, sull'integrazione dei sistemi BIM nell'ambito del patrimonio esistente, per comprendere le strategie operative attuate e, in un certo senso, valutarle in relazione alle premesse teoriche. Fra le prime e più strutturate iniziative di ricerca sul tema del BIM in Italia, è d'obbligo citare il progetto di ricerca PRIN, denominato INNOVance¹¹. Finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico, il progetto di ricerca INNOVance ha visto la

collaborazione di ben sedici *partners* diversi, tra i quali università, associazioni di produttori e costruttori, centri di ricerca e società di sviluppo *software*; obiettivo principale del progetto era la creazione della prima banca dati italiana per le costruzioni, ovvero di un sistema in grado di archiviare, aggiornare e trasmettere in modo chiaro ed univoco tutte le informazioni del settore delle costruzioni. Nell'ottica di favorire l'integrazione di tutti i soggetti coinvolti nella filiera delle costruzioni, a partire dalla fase di progettazione, fino alla costruzione del manufatto edilizio e alla sua successiva gestione, la ricerca INNOVance si è concentrata sulla definizione di un codice di classificazione e di identificazione univoco per le costruzioni, di una scheda tecnica standardizzata per ciascun prodotto, servizio, attività o risorsa, sulla costruzione di un *database* comune nonché sullo sviluppo di un portale *web* (figg. 1.3, 1.4) che permettesse agli utenti di usufruire delle informazioni codificate. La progettazione della banca dati, al fine di raggiungere l'univocità di denominazione, la standardizzazione delle informazioni raccolte, nonché l'accessibilità

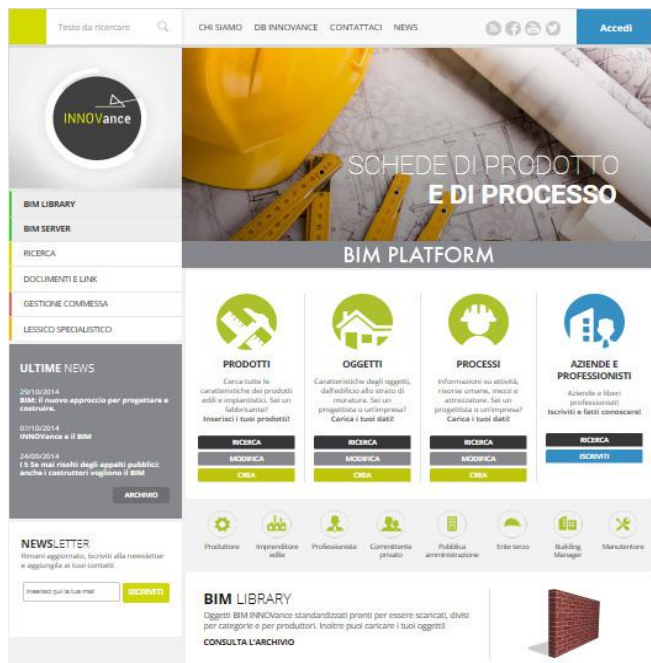


Fig. 1.3 – Screenshot della Homepage del portale web del progetto PRIN INNOVance, <http://www.innovance.it>.

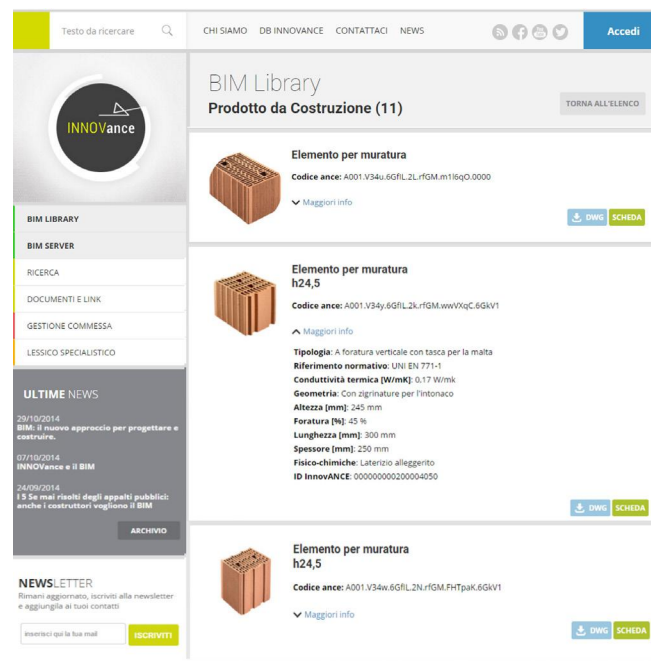


Fig. 1.4 – Screenshot di una pagina della BIM Library del portale web del progetto PRIN INNOVance, <http://www.innovance.it>.

e immediata fruizione dei dati, si fonda sulla definizione, per ciascun oggetto digitale del *database*, di specifiche informazioni in merito a: Categoria, Tipologia, Riferimento normativo, Caratteristiche prestazionali, Caratteristiche geometriche, Caratteristiche dimensionali, Caratteristiche fisico-chimiche. Se è vero che il sistema delineato dal progetto INNOVance può garantire l'univocità e la completezza delle informazioni, cercando di eliminare le incomprendimenti tra i soggetti che operano nelle diverse fasi e nei diversi ambiti, è pur vero che il conseguimento di questa standardizzazione è difficile in ambiente H-BIM, ovvero nei processi che hanno per oggetto manufatti tutt'altro che "standardizzabili". Fra i casi studio testati all'interno del progetto di ricerca INNOVance, si è dedicata maggiore attenzione all'analisi di quelli relativi al patrimonio esistente, fra questi la costruzione del modello informativo dello stato di fatto della ex centrale termica del Politecnico di Torino in vista del successivo progetto di rifunionalizzazione della stessa¹²; nell'ambito del medesimo ateneo, interessanti sono anche i risultati delle ricerche elaborate all'interno del laboratorio *Drawing To The Future*¹³, in un noto progetto coordinato dalla professoressa Anna Osello, in particolare per la digitalizzazione di alcuni manufatti del patrimonio pubblico della città di Torino, un esempio delle quali è riportato nella tavola riassuntiva della figura seguente (fig. 1.5).

Nell'ambito della ricerca accademica, ma più specificamente sulla tematica dell'applicazione delle nuove tecnologie alle attività sul Patrimonio Culturale, sono state analizzati i risultati delle diverse ricerche intraprese dal 2013 nell'ambito del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale PRIN "*Built Heritage Information Modelling/Management* - BHIMM", coordinato dal Politecnico di Milano (professor Stefano Della Torre) e con la partecipazione del Politecnico di Torino, del Consiglio Nazionale delle Ricerche, dell'Università degli Studi di Brescia, della Sapienza Università degli Studi di Roma, e dell'Università degli Studi di Genova. Gli obiettivi del progetto di ricerca "Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente" erano molteplici, volti principalmente ad una implementazione corretta ed efficace del metodo BIM nei processi di conservazione del patrimonio

architettonico, comprese pertanto le attività connesse alla conoscenza e alla gestione virtuosa dei beni. Fra i risultati preliminari delle diverse ricerche, esposti anche in occasione di un convegno svoltosi al Politecnico di Milano il 21 e 22 giugno 2016, particolare attenzione è stata dedicata agli studi coordinati dalla professoressa Donatella Fiorani, del Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'ateneo romano. Tali ricerche si sono concentrate sulla definizione di un modello ontologico (CPM - *Conservation Process Model*) specifico per la descrizione dei manufatti architettonici e per la definizione dei processi di conservazione (Acierno et al., 2017), implementando e personalizzando a tal proposito i sistemi BIM; sebbene sviluppate nell'ambito più specifico del Restauro architettonico, l'influenza delle premesse teoriche e delle strategie metodologiche delineate dal gruppo di ricerca è stata notevole nello sviluppo del presente studio, in particolare per le riflessioni sul contrasto tra l'unicità e l'irripetibilità del patrimonio esistente e gli oggetti digitali del modello, sull'interdisciplinarietà necessaria nei processi di conoscenza e conservazione, sulla strutturazione semantica del modello virtuale attuata a partire dal modello ontologico standard CIDOC *Conceptual Reference Model*.

In ambito professionale, anche nel panorama italiano, sono ormai diverse le esperienze di applicazione del metodo BIM ai processi di nuova realizzazione, specie nell'ambito delle cosiddette grandi opere; nel "mercato delle professioni", non a caso, sono nate diverse realtà professionali, costituite da specialisti del BIM, che offrono formazione, consulenza e soprattutto servizi di digitalizzazione dei progetti tanto alle committenze quanto ad altri professionisti. Nell'ambito degli interventi sul patrimonio esistente, come già anticipato, l'adozione del BIM è ben più complessa e, pertanto, le esperienze che è stato possibile analizzare sono di gran lunga inferiori. Tra queste, si può considerare certamente l'esperienza del rilievo per il progetto di restauro del Sacro Militare di Redipuglia nel Friuli Venezia Giulia; condotto da un raggruppamento temporaneo di professionisti attraverso l'ausilio di sistemi BIM, il processo sul monumento di regime è stato presentato in occasione del *workshop* "3D Modeling e BIM: applicazioni e possibili futuri sviluppi", svoltosi nella Facoltà di Archi-

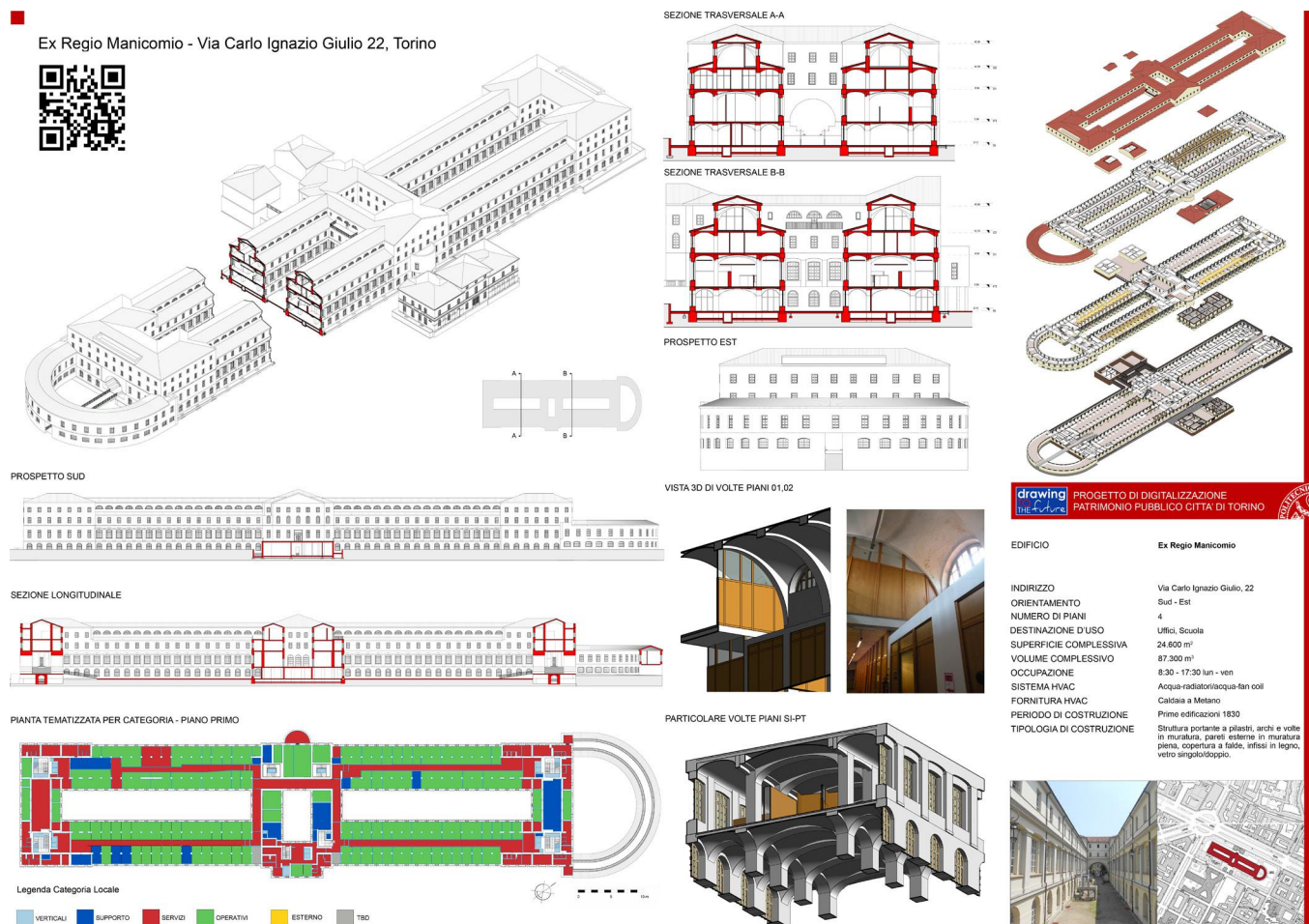


Fig. 1.5 – Elaborato grafico di sintesi relativo al progetto di digitalizzazione dei beni del patrimonio pubblico della città di Torino intrapreso dal laboratorio Drawing To The Future del Politecnico di Torino - immagine tratta dal sito web <http://www.drawingtothefuture.polito.it>.

tettura della Sapienza, Università di Roma (Empler, 2016). Ad illustrare le strategie operative ed i criteri adottati nella restituzione del rilievo e nella definizione del progetto di conservazione, sebbene in quel momento ancora in corso, sono intervenute al *workshop* diverse figure del processo, ovvero l'ing. Luigi Valerio Sant'Andrea, Responsabile Unico del Procedimento per la gara di affidamento dei servizi professionali (progettazione definitiva, comprendente rilievo geometrico e mappatura del degrado), il prof. arch. Eugenio Vassallo, capogruppo del Raggruppamento Temporaneo di Professionisti aggiudicatosi l'affidamento dei

servizi suddetti, e l'arch. Andrea Piero Donadello, dottore di ricerca in Conservazione di Beni Architettonici e membro del suddetto raggruppamento. Se si è scelto di riportare tale esperienza applicativa è perché la stessa rappresenta uno dei pochi casi di gara per l'affidamento di servizi professionali, relativi all'ambito del Patrimonio Culturale, nel cui bando sia stato espressamente richiesto il ricorso al metodo BIM; inoltre, nel seguito della ricerca, sono state analizzate più dettagliatamente alcune strategie attuate nel caso studio ai fini della gradualità del processo *BIM-oriented* di mappatura dei fenomeni di degrado dell'opera.

1.4 Una bibliografia in continua evoluzione: l'importanza del dibattito fra gli studiosi

Se considerato dal punto di vista dell'ambito disciplinare del Disegno dell'architettura, il tema del *Building Information Modeling* può dirsi nuovo e, pertanto, indicare delle pubblicazioni di riferimento, che possano considerarsi in un certo senso “definitive”, non è semplice. In particolare, nel panorama italiano, è di stretta attualità il tema recente dell'*Historical Building Information Modeling* così che, negli ambiti disciplinari del Disegno e del Restauro, la bibliografia cui fare riferimento si aggiorna continuamente ed è costituita per lo più da articoli scientifici. Data la novità del tema trattato, e considerando il continuo evolversi delle esperienze di ricerca e della conseguente bibliografia, la partecipazione attiva a giornate di studio e a dibattiti sulla materia, è da ritenersi ancor più importante del solito. Nel corso della ricerca di tesi, infatti, il confronto con altre esperienze di ricerca accademica, così come con testimonianze provenienti dal mondo della pratica professionale, è stato fondamentale per riflettere, con un punto di vista il più possibile critico, sulle effettive potenzialità e sugli aspetti critici legati all'adozione dei sistemi BIM; inoltre, grazie alla condivisione delle esperienze e dei risultati raggiunti dai diversi gruppi di ricerca, si è potuto costantemente ricavare un implicito *feedback* sul percorso stesso di tesi, migliorando le strategie metodologiche nella fase di applicazione sperimentale, per maturare poi delle riflessioni personali e originali. Nell'ultimo triennio, oltre che diverse iniziative editoriali¹⁴, sono sempre più frequenti seminari, *workshop*, incontri e dibattiti sul tema del BIM, a molti dei quali si è scelto di partecipare attivamente, anche inviando contributi personali in forma di articolo¹⁵ ed elaborazioni grafiche¹⁶. Nel corso dei suddetti incontri, e nei più recenti articoli scientifici sul tema (Volk et al., 2014), sono state presentate diverse ricerche in corso e sono emersi gli orientamenti e le direzioni principali di ricerca sul tema che i vari gruppi, afferenti ai diversi atenei italiani, hanno intrapreso; seppur analizzate con spirito critico, è innegabile che l'influenza di queste letture traspaia nelle riflessioni personali della ricerca.

L'avvento del BIM sta determinando nella comunità scien-

tifica del Disegno un subbuglio per certi versi simile a quello vissuto nel periodo in cui furono introdotte le tecnologie di acquisizione massiva di dati, più specificatamente nell'ambito del rilievo; governare questi avanzamenti tecnologici è fondamentale per la comunità scientifica, soprattutto in considerazione delle implicazioni teoriche connesse alla loro implementazione nelle consolidate metodologie di ricerca. Ragion per cui, ogni qual volta nella ricerca di tesi si sono affrontate questioni di natura teorica, ad esempio per la definizione delle potenzialità e dei limiti della modellazione in ambiente BIM nel processo di selezione e discretizzazione della realtà, non si è potuto prescindere dal rimando ai principi teorici fondamentali della rappresentazione architettonica, così come delineati dai più importanti esponenti dell'ambito disciplinare del Disegno. Fra tutti, di fondamentale aiuto sono stati gli scritti di Roberto De Rubertis¹⁷ e di Mario Docci, ai quali si è fatto riferimento per dimostrare quanto possa contribuire la cultura visuale dello studioso dell'ambito disciplinare del Disegno per l'avanzamento della ricerca sui sistemi BIM; in particolare, nelle questioni legate alla “rappresentabilità” del modello BIM e dei dati multidisciplinari che non siano di natura strettamente geometrica o figurativa, nonché nel parallelo tra i processi di modellazione per oggetti digitali e il metodo dell'analisi grafica intesa in senso tradizionale. Nelle riflessioni preliminari sulle differenze sostanziali tra i dati ottenuti a seguito di acquisizioni massive e i dati necessari per poter definire compiutamente gli oggetti digitali del modello virtuale in ambiente H-BIM, si è fatto tesoro della bibliografia ormai decennale sulle questioni connesse all'integrazione delle nuove metodologie di rilevamento nei processi di conoscenza del patrimonio esistente. Così, nello studio delle questioni inerenti la scala del modello tridimensionale e i principi di modellazione secondo differenti livelli di dettaglio, nella classificazione del modello BIM tra i modelli virtuali per il Patrimonio Culturale, e più in generale nello sviluppo delle premesse teoriche della ricerca, una pubblicazione alla quale si è fatto spesso riferimento è quella che riporta i risultati degli studi condotti da vari atenei nell'ambito della ricerca PRIN sulle “Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città”¹⁸.

1.5 Cenni sul quadro normativo: le peculiarità della norma UNI 11337:2017 nel panorama italiano

Nell'affrontare il tema del *Building Information Modeling* specificatamente dal punto di vista dell'ambito disciplinare del Disegno, si è scelto di non dedicare particolare spazio nella tesi di ricerca né alle questioni connesse alle ricadute positive sul settore delle costruzioni né all'evoluzione del quadro normativo sul tema. Ciò nonostante, è impossibile negare che l'introduzione dei sistemi BIM sta determinando una rivoluzione normativa nel mondo delle costruzioni, in ambito nazionale ed internazionale, così che contestualizzare la ricerca anche da questo punto di vista si rende necessario. Nell'ottica di governare tale processo di rinnovamento, diversi paesi europei ed extra-europei hanno proceduto negli ultimi anni all'emanazione di normative sul tema generale della digitalizzazione del processo edilizio e, più specificatamente, anche sull'adozione dei nuovi sistemi informativi BIM; dopo la crisi economica, che ha colpito molto duramente il settore delle costruzioni, nelle politiche industriali approntate dai governi più lungimiranti, la digitalizzazione del processo edilizio rappresenta un aspetto evolutivo imprescindibile per il comparto, con l'obiettivo principale di migliorare la produttività e l'efficienza dei processi. Nel prefigurare uno scenario futuro in cui la metodologia BIM sarà pratica comune, sia nell'ambito della ricerca che in quello della pratica professionale, e in cui i modelli informativi diventeranno lo strumento principale del processo di costruzione o di intervento sul patrimonio esistente, tanto dal punto di vista operativo che contrattuale, le questioni da affrontare sono numerose e complesse. Oltre che di natura tecnica, molti degli aspetti critici sono connessi alle incertezze circa la proprietà intellettuale¹⁹ dei *database* BIM, le possibilità di condivisione e divulgazione di informazioni sensibili²⁰ in questi contenute, la standardizzazione del livello di dettaglio da raggiungere ai vari stadi del processo, il livello di affidabilità delle informazioni contenute nei modelli, nonché i ruoli operativi e le responsabilità "intellettuali" (Denard, 2016, p. 60) e legali reciproche dei diversi attori in gioco. Se è vero che la condivisione dei dati (*data sharing*) attraverso un *database* unico determina notevoli vantaggi nel

processo decisionale multidisciplinare, è pur vero che risulta sempre più necessario attuare delle strategie tecnologiche e normative per il controllo dei flussi informativi, al fine di garantire la tutela dei dati, alcuni dei quali possono ovviamente essere considerati sensibili, per cui non divulgabili senza le dovute accortezze. Infine, proprio in merito all'applicazione dei processi BIM al Patrimonio Culturale, il quadro normativo può dirsi pressoché inesistente e sarebbe necessaria una revisione, o meglio, un'attualizzazione delle normative e delle linee guida vigenti nel campo della documentazione e visualizzazione dei Beni Culturali (Brusaporci et al., 2013; Inzerillo et al., 2016, p.16.4), sia a livello nazionale che internazionale.

A livello europeo, il principale punto di riferimento normativo è la *European Union Public Procurement Directive 2014/24*, ovvero la nota direttiva europea che nel 2014 invitava gli stati membri UE ad incoraggiare, attraverso provvedimenti legislativi nazionali da emanare entro il 2016, l'uso del *Building Information Modeling* per tutte le opere a finanziamento pubblico. Se l'articolo 22 della suddetta direttiva recita così nella versione originale in lingua inglese «For public works contracts and design contests, Member States may require the use of specific electronic tools, such as of building information electronic modelling tools or similar», la traduzione italiana del medesimo paragrafo non restituisce integralmente il medesimo concetto ed appare meno strutturata, parlando in senso più lato dell'utilizzo di «strumenti di simulazione elettronica per le informazioni edilizie o strumenti analoghi». All'articolo 52, la direttiva europea sottolinea poi l'importanza di utilizzare questi strumenti informatici, e il metodo BIM in particolare, per favorire la trasparenza delle procedure di appalto; in tal senso, viene rimarcato dalla direttiva il fatto che non si tratta di adottare un mero e sterile strumento elettronico, bensì di introdurre una metodologia di gestione e verifica dei dati nuova, che deve interessare tutte le fasi del processo edilizio.

Nel contesto normativo italiano in materia di appalti, disciplinato dapprima dal Codice dei Contratti Pubblici (d.lgs. 163/2006 e d.P.R. 207/2010), il Nuovo Codice Appalti (d. lgs. 56/2017) di recente emanazione spinge esplicitamente all'utilizzo progressivo di nuovi strumenti

elettronici specifici per le costruzioni ma, in fin dei conti, non arriva ancora a stabilire l'obbligatorietà dell'adozione del BIM negli appalti pubblici. In un paese come l'Italia, nel quale la normativa in materia di opere pubbliche ha palesato evidenti carenze e criticità nella programmazione, l'utilizzo della metodologia BIM nella progettazione e gestione degli appalti potrebbe determinare quella chiarezza e trasparenza tanto auspicata anche da Raffaele Cantone²¹, presidente dell'Autorità Nazionale Anticorruzione. Tralasciando tali considerazioni sul quadro normativo in materia di opere pubbliche, nella ricerca di tesi, si è scelto di dedicare maggiore attenzione alla norma UNI 11337:2017; ad oggi, infatti, sono state definitivamente approvate le parti 1, 4 e 5 di questa che può definirsi la prima vera norma tecnica italiana sul BIM, elaborata dal Gruppo di Lavoro UNI/CT033-GL05 "Codificazione dei prodotti e processi in edilizia" della Commissione Tecnica UNI 033 "Prodotti, processi e sistemi per l'organismo edilizio", ereditando e rielaborando in modo sostanziale dei progetti di norma²², sviluppati precedentemente ma in modo parziale. La norma, la cui denominazione estesa è

"Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi", nasce con l'ambizioso obiettivo di poter essere applicata a qualsivoglia tipologia di "prodotto" del settore costruzioni, sia esso un edificio od una infrastruttura, ed a qualsiasi processo di ideazione, produzione o esercizio, tanto nell'ambito delle nuove costruzioni che in quello della riqualificazione o conservazione del patrimonio costruito e del territorio.

La parte 1 (*Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi*) della norma UNI 11337 tratta degli aspetti generali della gestione digitale del processo informativo nel mondo delle costruzioni ed è molto importante in quanto, seppur lontana dalle tematiche d'interesse specifico dell'ambito disciplinare del Disegno, introduce alla metodologia BIM, proponendo in modo chiaro definizioni e concetti base. Tra questi, la norma chiarisce la definizione dei concetti di *Informazione* e *Contenuto Informativo*, distinguendo tra *Elaborati Informativi* e *Modelli Informativi* come veicoli delle informazioni, nonché i concetti di *Oggetto Digitale* e di *Libreria di Oggetti Digitali* (fig. 1.6). La prima parte della norma, introduce poi quella che può

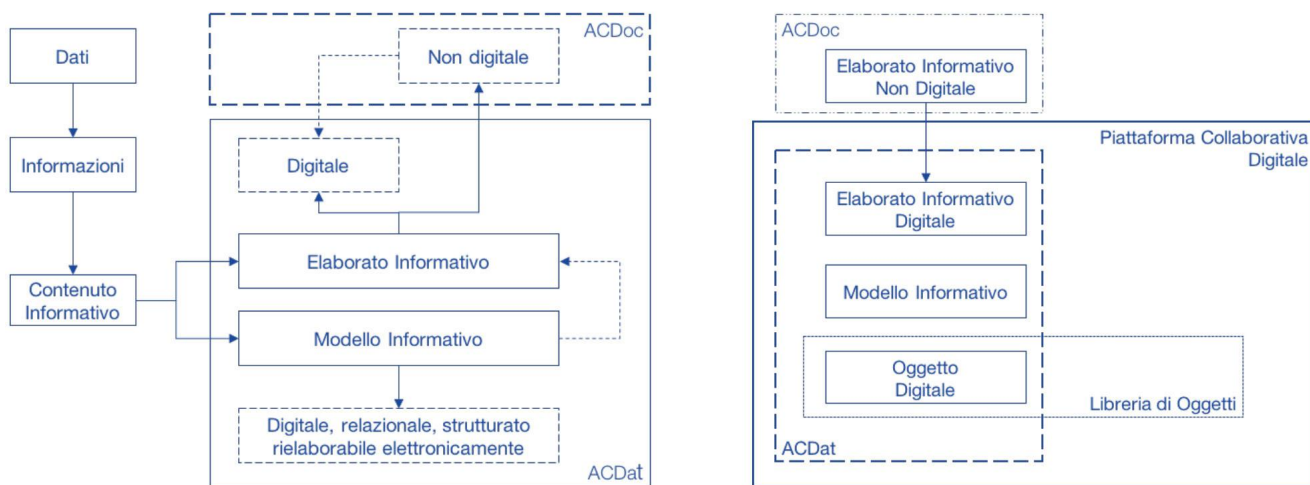


Fig. 1.6 – Schema di sintesi dei concetti generali introduttivi della norma UNI 11337:2017 - immagine tratta da una presentazione di Alberto Pavan, coordinatore del gruppo di lavoro UNI/CT033/GL 05.

definirsi la prima classificazione italiana del livello di maturità digitale²³ del *Processo Informativo delle Costruzioni*, strutturato a sua volta in “stadi” e “fasi” (fig. 1.7); la norma chiarisce i concetti di “struttura informativa del prodotto risultante delle costruzioni” e di “struttura informativa del processo delle costruzioni”. Nel *Processo Informativo delle Costruzioni* sono distinti lo stadio di sviluppo (programmazione, progettazione e produzione) e lo stadio di esercizio; e in accordo con tale distinzione, la norma UNI identifica ulteriori sotto-fasi del processo informativo.

Attraverso lo studio dei nuovi possibili flussi di lavoro che l'adozione della metodologia BIM determina, la parte prima della norma fornisce delle indicazioni, anche di tipo operativo, per la definizione dei differenti stati di lavorazione, approvazione e verifica dei modelli informativi, durante e a fine processo, attraverso scale di valutazione condivisibili dal settore. Più in dettaglio, i modelli informativi possono essere classificati secondo i seguenti Stati di Lavorazione:

- L0 modello in fase di elaborazione / aggiornamento;
- L1 modello in fase di condivisione;

- L2 modello in fase di pubblicazione;
- L3.V modello archiviato - Validato;
- L3.S modello archiviato - Superato.

Relativamente ai processi di approvazione che si renderanno necessari, invece, la classificazione dei modelli informativi prevede i seguenti Stati di Approvazione:

- A0 modello da approvare;
- A1 modello approvato;
- A2 modello approvato con commento;
- A3 modello non approvato.

Infine, in merito ai processi di verifica dei modelli, la parte prima della norma UNI 11337 prevede i seguenti Stati di Verifica:

- V1 verifica interna, formale;
- V2 verifica interna, sostanziale;
- V3 verifica indipendente, formale e sostanziale.

La parte 4 (*Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati ed oggetti*) della norma interessa gli aspetti qualitativi e quantitativi della gestione digitalizzata del *Processo Informativo delle Costruzioni*, ed entra nel dettaglio degli obiettivi di ciascuna delle fasi del processo introdot-

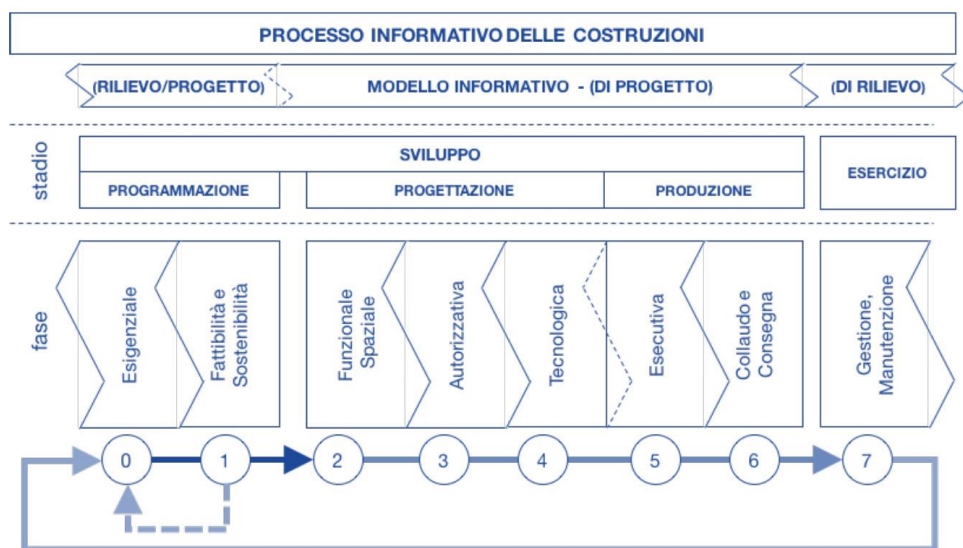


Fig. 1.7 – Il *Processo Informativo delle Costruzioni* già delineato nel progetto di norma codice U87007271 - immagine tratta da una presentazione di Alberto Pavan, coordinatore del gruppo di lavoro UNI/CT033/GL 05.

te nella parte 1, classificandole secondo una numerazione che va da 0 a 7, di seguito riportata:

- 0 esigenziale;
- 1 fattibilità e sostenibilità;
- 2 funzionale;
- 3 autorizzativa;
- 4 tecnologica;
- 5 esecutiva;
- 6 collaudo e consegna;
- 7 gestione e manutenzione.

La norma approfondisce ulteriormente i concetti di Modello e di Oggetto Digitale, con particolare riferimento agli obiettivi delle fasi, rapportati agli obiettivi e agli usi del modello e, di conseguenza, al livello di sviluppo geometrico (LOG *Level of Geometry*) ed al livello di sviluppo informativo (LOI *Level of Information*) degli oggetti digitali (fig. 1.8), la cui aggregazione concorre, come noto, alla costruzione del modello stesso.

Dato che la norma UNI 11337 è stata strutturata con l'intento di essere applicata a qualsivoglia tipologia di prodotto del settore delle costruzioni, sia che si tratti di un immobile, di un'infrastruttura, o di un intervento a scala territoriale, la parte quarta della stessa è incentrata sulla definizione dei cosiddetti LOD, ovvero dei "Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali" considerati alle diverse scale di progetto e secondo i differenti possibili ambiti di applicazione. Rivisitando le classificazioni britanniche e statunitensi²⁴, la classificazione proposta per i Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali dalla norma UNI 11337:2017 vede una scala crescente da "LOD A" a "LOD G" per i diversi "prodotti" del settore; in estrema sintesi, si va dal LOD A dove l'oggetto è definito in modo simbolico, al LOD G dove l'oggetto si denisce "aggiornato", ovvero esistente (*as-built*) e già sottoposto ad interventi di manutenzione o recupero nel suo ciclo di vita. Proprio perché nata in ambito italiano, e chiaramente legata alle particolarità del nostro patrimonio edilizio, è da rilevare che la norma UNI 11337:2017 introduce per la prima volta nel quadro normativo quelli che dal Legislatore stesso sono stati definiti i "LOD per il restauro", esplicitando nei livelli di sviluppo F e G della classificazione su citata le prime specifiche cui riferirsi nel caso di interventi sul patrimonio esistente,

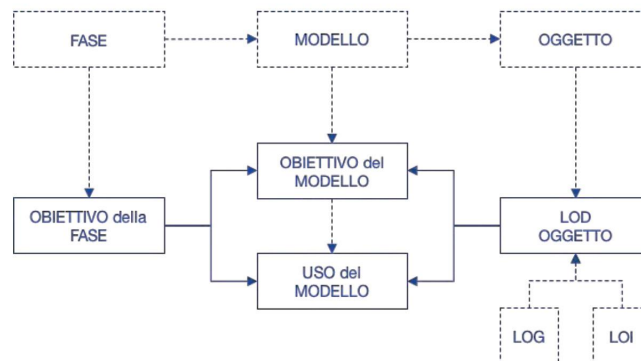


Fig. 1.8 – Obiettivi e LOD già delineati nel progetto di norma codice U87007271 - immagine tratta da una presentazione di Alberto Pavan, coordinatore del gruppo di lavoro UNI/CT033/GL 05.

anche di interesse storico-culturale. In estrema sintesi, è classificabile secondo il LOD F la "virtualizzazione" stessa degli oggetti esistenti, anche attraverso la generazione di elementi specifici *ad hoc* non disponibili nelle librerie di oggetti digitali comuni; per progredire nella classificazione al LOD G, che secondo il Legislatore deve potersi considerare un *as-built*, è necessario inoltre definire gli interventi di gestione da eseguire nel tempo sui diversi oggetti esistenti virtualizzati nel modello. A quest'ultimo livello della classificazione, il modello dovrebbe pertanto poter descrivere lo stato di fatto di un sistema aggiornato rispetto ad un precedente intervento per cui, anche, di un sistema "storicizzato"; se ne deduce che, a tale scopo, oltre che gli interventi eseguiti nel tempo sull'oggetto, se ne dovrebbe registrare anche lo stato di conservazione attraverso l'indicazione dei fenomeni di degrado eventualmente in atto. Data la mancanza nella norma di indicazioni operative in merito, la definizione delle strategie per poter descrivere in ambiente BIM le modificazioni che nel tempo sono intervenute sui manufatti è generica, ragion per cui rappresenta un campo di ricerca estremamente interessante, a livello teorico ed operativo, tanto per il nostro ambito disciplinare del Disegno, che per quello del Restauro dell'Architettura. In conclusione, la parte 5 (*Flussi informativi nei processi digitalizzati*) della norma definisce, per i processi di costruzione digitalizzati, i ruoli delle differenti figure in

gioco, i requisiti e, soprattutto, i flussi di lavoro necessari per la produzione (elaborazione), gestione e trasmissione (condivisione e comunicazione) dei dati informativi. La scelta di trattare più approfonditamente la norma UNI 11337:2017, non nasce esclusivamente dal fatto che la stessa rappresenti la più recente normativa italiana sul tema della digitalizzazione del processo edilizio. Nella ricerca, infatti, lo studio delle parti già emanate della norma UNI 11337 è stato fondamentale per poi contestualizzare determinati risultati originali della tesi all'interno di un quadro normativo valido, tanto recente da essere tuttora in corso di definizione per le parti mancanti. In particolare, considerato lo stato embrionale delle indicazioni della norma sui cosiddetti "LOD per il restauro", ovvero sul tema del

Livello di Sviluppo degli Oggetti Digitali relativi al Patrimonio Culturale costruito, si è scelto in tal senso di approfondire l'intuizione di codificare ed introdurre in ambiente BIM un nuovo parametro, da affiancare a quelli esistenti, per i modelli informativi nell'ambito del patrimonio esistente. Pur non volendo anticipare i risultati della ricerca a tal proposito, basti sapere che nella definizione del nuovo parametro si è scelto di operare in continuità con la classificazione dei Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali delineata proprio dalla norma UNI 11337:2017; e questa scelta nasce dalla speranza di rendere i risultati preliminari della presente ricerca meno avulsi dalle dinamiche in atto nel mondo professionale e, pertanto, più rilevanti anche nell'ambito della ricerca scientifica.

1.6 Gli obiettivi di interoperabilità, sostenibilità e accesso nei processi BIM-oriented

Convinti che lo scopo della ricerca sia quello di studiare il *Building Information Modeling* come processo metodologico e non come mera applicazione di uno degli specifici strumenti *software* presenti sul mercato, è doveroso fare una breve parentesi sul tema dell'interoperabilità che, negli ultimi anni, può considerarsi un obiettivo strategico per il settore delle costruzioni e per la comunità scientifica. Come è noto, tra gli obiettivi principali in un flusso di lavoro BIM-oriented vi è quello di favorire l'interazione e lo scambio dati (in tal caso definito *Bulding Information Exchange*), bidirezionale e costante, tra le differenti figure coinvolte nel processo progettuale (fig. 1.9); premesso che è impensabile che esista un applicativo di BIM *authoring* in grado di trattare ad alto livello tutte le discipline specialistiche coinvolte in un processo progettuale, le diverse figure utilizzeranno applicativi diversi, tanto per la costruzione del modello, quanto per le verifiche e per le simulazioni sullo stesso. Ciò premesso, in questi processi basati sulla condivisione dei dati, è pertanto fondamentale che sia garantita la possibilità di dialogo, preferibilmente bidirezionale, fra i modelli specialistici e il modello condiviso (*merged model*) che fa da contenitore centrale delle informazioni e consente tanto la visione d'insieme del progetto quanto l'esecuzione di verifiche interdisciplinari; tale

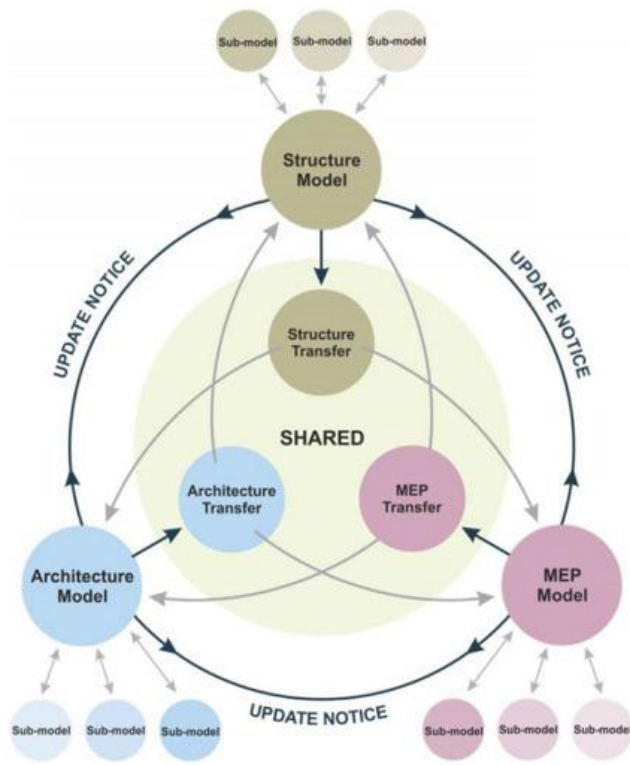


Fig. 1.9 – I processi di Building Information Exchange tra modelli multidisciplinari in uno schema tratto dal portale web di una nota società di sviluppo software - <http://biblus.acca.it>.

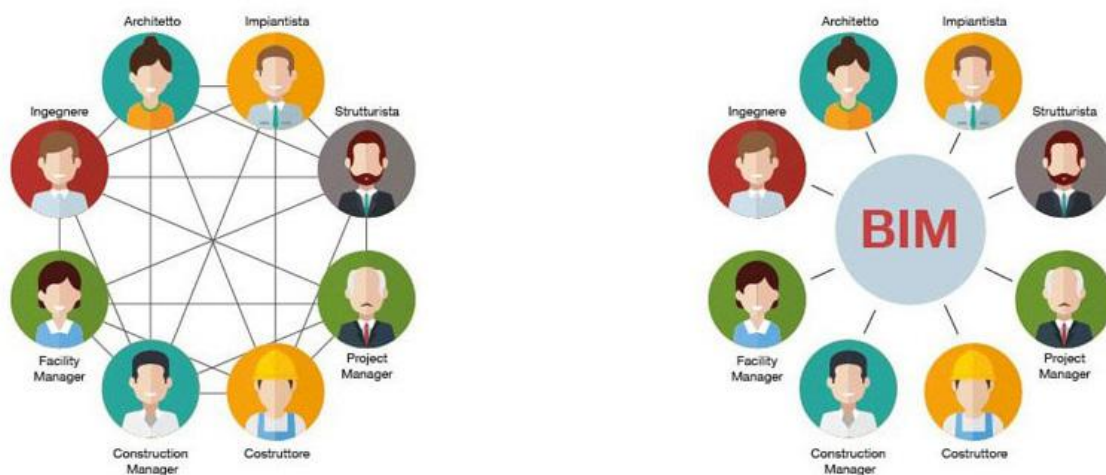


Fig. 1.10 – Processi tradizionali di scambio dati e Interoperabilità nei processi BIM in uno schema tratto dal portale web <http://biblus.acca.it>.

complessa struttura di interazione e *update* continuo tra i modelli specialistici è fondamentale nella progettazione integrata delle nuove costruzioni e, considerando la necessità di apporti specialistici, anche nell'ambito del rilievo e dell'intervento sul patrimonio esistente. Pianificare, e poi garantire, che il *Building Information Exchange* avvenga correttamente tra le figure (fig. 1.10) di quello che la su citata norma UNI 11337:2017 definisce Processo Informativo delle Costruzioni, è uno dei compiti fondamentali della nuova figura del BIM *coordinator*.

Dopo una fase iniziale in cui le diverse case produttrici di *software* erano in un certo senso indifferenti al problema della creazione di un linguaggio comune per gli applicativi del settore delle costruzioni, oggi si può affermare che l'obiettivo dell'interoperabilità è divenuto fondamentale per i governi, per i diversi *stakeholders* e per le stesse *software house*. A tal proposito, ormai da qualche anno, è stato sviluppato dalla fondazione *buildingSMART International* BSI, nota in passato come *IAI International Alliance for Interoperability*, il formato file di scambio dati neutrale IFC (acronimo di *Industry Foundation Classes*), allo scopo di stabilire un linguaggio standard comune fra i vari *software* utilizzati nel mondo dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni in generale, e per favorire, oltre che lo scambio e la condivisione dei dati, anche la

permanenza nel tempo dei dati archiviati (e quindi la loro utilità). Il formato aperto²⁵ IFC, registrato dalla *International Standardization Organization* come ISO/PAS 16739, è pertanto lo standard cui riferirsi in un approccio di tipo *Open BIM*, ovvero in un processo volto a consentire la trasparenza nei flussi di lavoro BIM a prescindere dai *software* specifici utilizzati dagli attori del processo interdisciplinare. Diverse case produttrici di *software* collaborano all'iniziativa di *buildingSMART*²⁶, nell'ottica di migliorare l'interoperabilità tra i diversi applicativi di tipo BIM, più o meno congeniali ai vari ambiti di applicazione; nella condivisione di questi diversi modelli informativi, il formato IFC si comporta come un interprete che traduce i diversi linguaggi²⁷ dei singoli applicativi di BIM *authoring*, al fine di consentire l'efficace costituzione del *merged model*, che funge da *database* comune. In estrema sintesi, il formato aperto incoraggia la concorrenza, invece di consentire ad un solo produttore di mantenere il controllo sul formato proprietario, e garantisce l'accesso ai dati nel lungo periodo (*sustainability*) senza incertezza presente e futura riguardo ai diritti legali o alle specifiche tecniche. L'utilizzo di un formato proprietario, infatti, legherebbe la fruizione dell'informazione al programma che ha prodotto il modello specifico che la contiene; ciò significa che il cambiamento di versione del *software* o, peggio, la scomparsa dal

mercato della *software house* che lo ha realizzato, renderebbe inutilizzabili i dati memorizzati nei *file* conservati, ad esempio, negli archivi digitali degli enti pubblici. Seppur non direttamente connessi alla tematica del *Building Information Modeling*, parlando di interoperabilità dei dati è possibile fare una breve parentesi sul concetto di “patrimonio digitale” così come delineato dalla “Carta sulla Conservazione del Patrimonio Digitale”²⁸ emanata nel 2003 dall’UNESCO, soprattutto in riferimento al ciclo di vita delle informazioni ed alla necessità di attuare tutte le strategie possibili per evitare eventuali perdite di tale prezioso patrimonio digitale e garantirne il mantenimento nel tempo e l’accesso. Nel riflettere sugli obiettivi futuri e di grande respiro legati all’utilizzo dei sistemi BIM nell’ambito del Patrimonio Culturale, non si può pertanto non fare riferimento ai concetti di *sustainability* e *access*, nelle accezioni che a questi due concetti è stata data dalla “Carta di Londra per la visualizzazione digitale del Patrimonio Culturale”²⁹. Il documento nasce da un’iniziativa che muoveva dalla mancanza di “trasparenza intellettuale”, nonché dai problemi epistemologici connessi all’iperrealismo, denunciata dagli studiosi già negli anni Novanta nell’ambito delle visualizzazioni *computer-based* del Patrimonio Culturale. Il quinto principio della Carta di Londra (AA.

VV., 2016) muove, infatti, dalla considerazione che le visualizzazioni digitali del Patrimonio Culturale rappresentino esse stesse un prodotto dell’attività umana, facente parte con pieno diritto del comune patrimonio intellettuale, sociale e culturale (Denard, 2016, p. 69) dell’umanità. Volendo estendere tale considerazione anche ai modelli informativi BIM aventi come oggetto manufatti del Patrimonio Culturale, è allora condivisibile quanto auspicato della Carta di Londra circa l’importanza da parte della comunità scientifica di garantire la *sostenibilità* nel tempo di questo patrimonio digitale (ad esempio promuovendo l’utilizzo di formati dati aperti) e di favorire il più possibile l’accesso ai dati alla comunità degli utenti, esperti o comuni che siano (fig. 1.11). Nell’ambito del Patrimonio Culturale costruito, sono proprio i sistemi informativi quali il BIM che, impostati secondo principi scientifici di cui si discuterà più dettagliatamente in seguito, potrebbero rappresentare il “contenitore sostenibile” di queste conoscenze e il mezzo per trasmettere tanto la conoscenza specialistica agli operatori esperti (attraverso sistemi avanzati di *Building Information Exchange*) quanto la conoscenza più immediata (attraverso visualizzazioni *computer-based* del modello, statiche o in *real-time*) per un pubblico più vasto di non esperti.

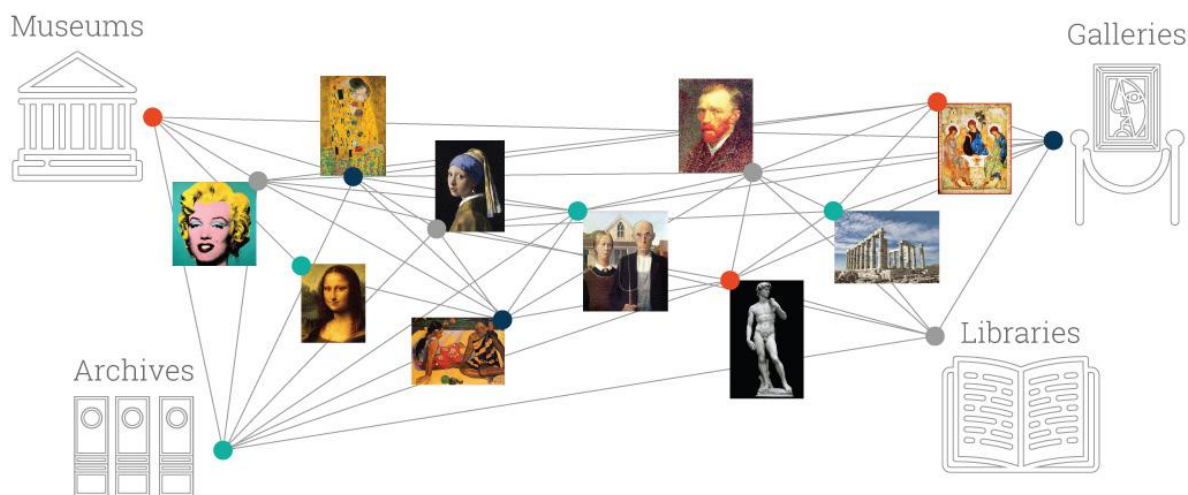


Fig. 1.11 – Visualizzazione schematica delle possibili connessioni tra dati del Patrimonio Culturale nei sistemi basati sui Linked Open Data in una immagine tratta dal web (<http://hackalod.com/index.php/2016/09/16/inspiratie-webinar-linked-open-data-for-cultural-heritage/>).

Note

- 1 Si pensi naturalmente alla gestione delle *points cloud* acquisite tramite sistemi per la scansione laser (TLS *Terrestrial Laser Scanning*) o alle cosiddette *dense cloud* elaborate attraverso applicazioni di fotogrammetria digitale (*Image-Based Modeling*).
- 2 L'affermazione, che sottolinea l'importanza della conoscenza e della documentazione come presupposti fondamentali per qualsiasi intervento sui beni architettonici del Patrimonio Culturale, è contenuta nella premessa della "Carta del Rilievo Architettonico", ovvero di un noto documento cui si è fatto più volte riferimento nel corso della ricerca di tesi. AA.VV., 2000. Verso la "Carta del Rilievo Architettonico". In CUNDARI, C., CARNEVALI, L. (a cura di), *Il Rilievo dei Beni Architettonici per la Conservazione*. Atti del Convegno di Napoli, 15/17 aprile 1999. Roma: Edizioni Kappa.
- 3 EASTMAN, C.M., FISHER, D., LAFUE, G., LIVIDINI, J., STOKER, D., YESSIOS, C., 1974. An Outline of the Building Description System. Pittsburgh: Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University, Research Report n. 50.
- 4 Le definizioni di "Oggetto Digitale" e "Libreria di Oggetti Digitali" sono desunte dalla norma UNI 11337:2017, successivamente analizzata nel dettaglio; tali definizioni sono generiche e, pertanto, prescindono dalle differenti nomenclature utilizzate nei vari applicativi di BIM *authoring* presenti sul mercato.
- 5 Nella fase di applicazione del metodo BIM al caso studio della presente ricerca, si è scelto di utilizzare l'applicativo di BIM *authoring Autodesk Revit*, e si è potuto constatare quanto il "dialogo" con il software CAD *Autodesk Autocad* sia raffinato e personalizzabile, sia in fase di *input* che di *output* degli elaborati vettoriali. Nel caso specifico, bisogna però sottolineare che tale interoperabilità fra i due sistemi è molto favorita dal fatto che gli stessi siano ad oggi sviluppati dalla medesima casa madre; non poche difficoltà permangono infatti nei processi di scambio bidirezionali tra i più comuni *software* sul mercato.
- 6 A tal proposito, basti ad esempio pensare ad una funzione avanzata gestita in modo innovativo dall'applicativo *Autodesk Revit*, per la generazione semi-automatica di "esplosi" in proiezione parallela o prospettica; a fronte di un unico modello, infatti, è possibile intervenire direttamente nelle singole viste dell'applicativo "esplorendo", o meglio, trascinando nello spazio i singoli oggetti digitali, la cui posizione varierà solo nella visualizzazione corrente dell'applicativo ma non nel modello tridimensionale di per sé.
- 7 In letteratura, il modello BIM è spesso definito "multidimensionale" in quanto, attraverso lo stesso, è possibile gestire oggetti digitali la cui definizione non si ferma alla terza dimensione; partendo dalle informazioni di varia natura (storiche, fisiche, ...) di carattere testuale (1D), in ambiente BIM si gestiscono agevolmente i disegni bidimensionali di partenza o preparatori (2D) per giungere alla definizione tridimensionale del modello geometrico (3D). Ciò premesso, le ulteriori "dimensioni del BIM" possono infatti essere considerate: il tempo (4D), i costi (5D), il Facility Management (6D) per la gestione dei manufatti, e il Green (7D), ovvero le informazioni connesse alla sostenibilità e alla gestione energetica del fabbricato.
- 8 L'acronimo H-BIM, nell'accezione di *Historical Building Information Modeling* ed oggi utilizzato a livello internazionale, compare per la prima volta nel 2009 in un articolo scientifico, ormai celeberrimo, relativo ad una ricerca del Dublin Institute of Technology per la modellazione BIM di edifici storici a partire da dati di rilievo *remotely-sensed*, ovvero acquisiti in modo indiretto. MURPHY, M., MCGOVERN, E., PAVIA, S., 2009. Historical Building Information Modeling (H-BIM). *Structural Survey*, Volume 27, n. 4, pp. 311-327.
- 9 AA.VV., 2000. Verso la "Carta del Rilievo Architettonico". In CUNDARI, C., CARNEVALI, L. (a cura di), *Il Rilievo dei Beni Architettonici per la Conservazione*. Atti del Convegno di Napoli, 15/17 aprile 1999. Roma: Edizioni Kappa.
- 10 EASTMAN, C.M., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K., 2007. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Hoboken: John Wiley and Sons Inc.
- 11 PAVAN, A., DANIOTTI, B., CECCONI, F., MALTESE, S., SPAGNOLO, S., CAFFI, V., CHIOZZI, M., PASINI, D., 2014. INNOVance: Italian BIM Database for Construction Process Management. In ISSA ISSA, R., FLOOD, I., Computing in Civil and Building Engineering. Orlando: American Society of Civil Engineers, pp. 641-648. Disponibile all'indirizzo: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413616.080>.
- 12 LO TURCO, M., 2012. Dalle geometrie delle preesistenze alla conoscenza della costruzione: un'esperienza di recupero aggiornata dalla metodologia BIM / From the geometry of pre-existing to the construction knowledge: an updated recovery from BIM. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 12, 2012, pp. 227-234.
- 13 <http://drawingtothefuture.polito.it>.
- 14 Particolarmente significativo in tal senso è da ritenersi il numero dal titolo "Le dimensioni del B.I.M." che la rivista digitale *Disegnarecon* ha dedicato al tema del BIM nel giugno 2016; si tratta infatti di una raccolta di articoli, molti dei quali riportati in bibliografia, scritti sul tema del BIM da diversi studiosi e gruppi di ricerca italiani. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016.
- 15 NICASTRÒ, S., 2016. L'applicazione del BIM come sistema informativo localizzato nel processo di conoscenza del Patrimonio Culturale. In EMPLER, T. (a cura di), 3D MODELING and BIM, Applicazioni e possibili futuri sviluppi / Applications and possible future developments. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile. L'articolo è stato pubblicato all'interno del volume, curato dal prof. Tommaso Empler, che raccoglie i contributi dei relatori e degli studiosi intervenuti in occasione del workshop "3D Modeling and BIM. Applicazioni e possibili futuri svilup-

- pi", svoltosi a Roma, alla Facoltà di Architettura della Sapienza, Università degli Studi di Roma, il 21 e 22 Aprile 2016.
- 16 In occasione della giornata di dibattito "Brainstorming the BIM model", svoltasi a Milano, alla Facoltà di Architettura del Politecnico di Milano, il 25 Novembre 2016, organizzata dal Dipartimento ABC del Politecnico di Milano, patrocinata dall'UID - Unione Italiana Disegno, dal CNAPPC - Consiglio Nazionale degli Architetti Pianificatori Paesaggisti e Conservatori e dal progetto DigiSkills della Scuola AUIC del Politecnico di Milano, si è scelto di partecipare attivamente alla *poster session* presentando un elaborato grafico, con una relazione di accompagnamento, dal titolo "Strategie e criteri metodologici per l'applicazione dei sistemi BIM nel processo di conoscenza del Patrimonio Culturale"; il tema principale della giornata di studio è stato la modellazione BIM per le costruzioni antiche e nuove nella didattica e nella ricerca.
 - 17 DE RUBERTIS, R., 1994. Il disegno dell'architettura. Roma: Carocci.
 - 18 DOCCI, M., Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città, Ricerca PRIN 2007. Roma: Gangemi.
 - 19 Si faccia in tal senso riferimento agli aspetti legati alla proprietà industriale, ovvero al d.lgs 30/2005 cosiddetto "Codice della Proprietà Industriale"; questo Testo Unico raccoglie le norme relative alla proprietà artistica, letteraria e industriale, il cui insieme costituisce, appunto, la cosiddetta "proprietà intellettuale".
 - 20 Nei processi di gestione integrata del progetto tramite sistemi di tipo BIM, e nei processi di scambio dati connessi, è necessario che venga rispettato il noto d.lgs 196 del 30 giugno 2003, ovvero il "Codice in materia di protezione dei dati personali", volto alla tutela della *privacy*.
 - 21 Si fa riferimento al Comunicato del Presidente del 24 novembre 2014 "Misure urgenti per la semplificazione e la trasparenza amministrativa e per l'efficienza degli uffici giudiziari", pubblicato sul sito dell'Autorità Nazionale Anticorruzione, <http://www.avcp.it>.
 - 22 Al momento dell'insediamento del Gruppo di Lavoro UNI/CT033-GL05, esistevano già due progetti di norma, UNI 11337:2009 ed UNI/TS 11337-3:2015, denominati "Edilizia e opere di ingegneria civile".
 - 23 La norma classifica il "livello di maturità digitale" dei processi con una scala che va da 0 a 4, dove il gradino più basso è occupato dai processi di tipo non digitale; salendo la scala, gli altri livelli sono definiti base, elementare, avanzato ed ottimale.
 - 24 La più nota classificazione dei LOD, intesi come *Level of Development* della modellazione BIM, è probabilmente quella contenuta nelle BIM *Guidelines* emanate nel 2012 dal New York City Department of Design and Construction - <http://www.nyc.gov/html/dcc/downloads/pdf/DDC-BIM-Guidelines.pdf>; in questa classificazione, il *Level of Development* degli oggetti digitali (o del modello) cresce in una scala che va da 100 a 500.
 - 25 In Informatica si definisce "formato aperto" una specifica tecnica di pubblico dominio, utilizzata per la descrizione e l'archiviazione di dati digitali, libera da restrizioni legali per il suo utilizzo.
 - 26 L'organismo BuildingSMART International si occupa, oltre che dello sviluppo continuo di IFC, di verificare la conformità a tale formato dei prodotti delle *software house* che ne facciano richiesta, rilasciando un'apposita certificazione.
 - 27 Un *file* formato .ifc può essere visualizzato graficamente a mezzo dei tanti applicativi di *visualization*, facilmente reperibili sul web, che consentono la "navigazione" del modello informativo ed anche delle operazioni di *querying*. Inoltre, un *file* con estensione .ifc può essere aperto e letto con qualsiasi editore di testo, dopo averne modificata l'estensione in .txt; in tal caso, sulla schermata verrebbe visualizzato un elenco di parametri e di relativi valori, strutturati secondo un preciso schema, ma non facilmente comprensibili.
 - 28 "Charter on the Preservation of Digital Heritage", disponibile al seguente indirizzo web http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html.
 - 29 AA.VV., 2016. The London Charter for the computer-based visualisation of Cultural Heritage (Version 2.1, 2009). In BENTKOWSKA-KAFEL, A., DENARD, H., BAKER, D., *Paradata and transparency in virtual heritage*. London: Routledge Taylor and Francis Group, pp. 57-71. La prima versione del documento, dal titolo *The London Charter for the use of 3D visualization in the research and communication of Cultural Heritage*, nasce da un'iniziativa internazionale del 2006. Revisionando parte dei contenuti ed ampliandone il campo di applicazione, nel 2009 viene pubblicata la versione 2.1 qui citata; nel 2016, Hugh Denard traccia un breve resoconto che illustra le origini e i fondamenti logici della Carta e, inoltre, gli sviluppi e la diffusione della stessa a livello internazionale. I principi espressi nella Carta di Londra era di tipo generale, così da conservare la loro validità nel tempo a prescindere dall'evoluzione strettamente tecnologica degli strumenti; l'emanazione di specifiche linee guida di adozione fu infatti demandata alle diverse *community of practice*, professionali e disciplinari, afferenti ai diversi ambiti di applicazione.

2. Il Building Information Modeling nell'ambito del patrimonio esistente

2.1 I processi di Historical-BIM: ambito di interesse e obiettivi della ricerca

Nell'ambito dello studio dei sistemi di *Building Information Modeling*, finora la comunità scientifica ha poco riflettuto sul fatto che la modellazione in ambiente BIM, per essere correttamente impostata e risultare di conseguenza efficace e coerente, presuppone da parte dell'operatore un forte controllo dello spazio, sia nel riconoscimento delle variabili parametriche degli oggetti digitali, sia nella corretta definizione, geometrica e semantica, dei vincoli e delle associazioni fra elementi del modello e riferimenti spaziali. Partendo dallo studio delle logiche di modellazione parametrica e informativa in ambiente BIM, evidenziandone le potenzialità e al contempo l'innata rigidità, la ricerca ha inteso dimostrare che l'utilizzo delle metodologie BIM necessita che l'operatore BIM sia adeguatamente preparato nell'ambito disciplinare del Disegno dell'Architettura, soprattutto per governare e discretizzare le innumerevoli variabili nel processo di modellazione, ovvero di composizione degli oggetti digitali, parametrizzati o parametrizzabili, costituenti il modello BIM. Quanto appena affermato, è risultato ancor più evidente nell'ambito specifico dei sistemi cosiddetti H-BIM di *Historical Building Information Modeling*, per il rilievo e l'intervento su manufatti architettonici esistenti di interesse culturale (Murphy et al., 2009); in ambiente H-BIM, infatti, l'operatore deve gestire dati di rilievo complessi ed eterogenei, padroneggiare le costruzioni geometriche sottese negli elementi dell'architettura costruita, conoscere e riconoscere le tecniche costruttive, definire gli elementi a livello semantico oltre che geometrico, in un processo di elaborazione dove la componente critica è a dir poco importante così come la necessaria "trasparenza" del processo in sé (Brusaporci, 2016, p. 67).

Nella fase iniziale della ricerca, proseguendo gli studi già intrapresi dal Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura per una codifica dei modelli virtuali per il rilievo architettonico¹, si è cercato di inquadrare a livello teorico il modello informativo BIM, definendone nel dettaglio caratteristiche, potenzialità e aspetti critici, sia nel campo della progettazione che nell'ambito della conoscenza e dell'intervento sul Patrimonio Culturale costruito. Nel ribadire che il modello informativo rappresenta un *database* capace di gestire grandi quantità di dati multidisciplinari, si è inteso dimostrare il potenziale dei sistemi di *Historical Building Information Modeling*, nonostante le evidenti difficoltà di carattere metodologico ed operativo; la rigidità congenita nei processi di modellazione parametrica ed informativa, per oggetti digitali contenuti in librerie, contrasta infatti con la variabilità e l'irregolarità caratteristiche dell'ambiente costruito², specie se storicizzato o in cattivo stato di conservazione. Dopo aver analizzato diverse esperienze condotte all'estero ed in Italia sull'integrazione tra sistemi BIM e tecnologie di acquisizione massiva di dati, ci si è inevitabilmente scontrati con le differenze, concettuali oltre che operative, tra i dati raccolti a seguito di una campagna di rilievo integrato e i dati necessari per poter definire compiutamente, e in modo parametrico, i componenti solidi "intelligenti" del modello virtuale BIM. Principalmente con l'intento di definire metodologie di lavoro valide e coerenti in tal senso, nella ricerca di tesi si è scelto di condurre un'applicazione sperimentale su un caso studio, successivamente presentato nel dettaglio, avente caratteristiche idonee per una prima esperienza in ambito H-BIM svolta alla luce di solide premesse teoriche.

A livello operativo, relativamente alla gestione di dati 3D derivanti da rilevamenti con tecnologie di acquisizione massiva, basate sulla scansione *laser* (TLS - *Terrestrial*

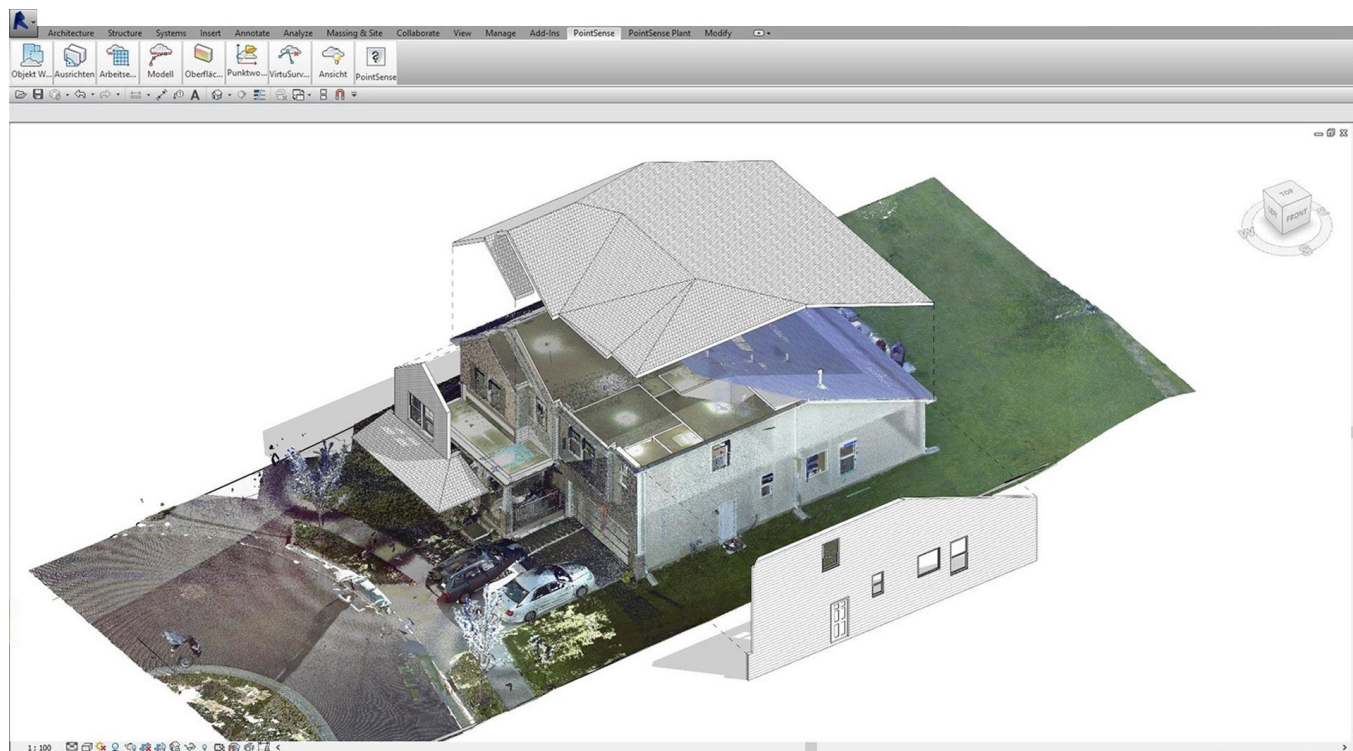


Fig. 2.1 – Elaborazioni in ambiente BIM su points cloud in un'immagine tratta dal web dimostrativa del plug-in Pointsense for Revit.

Laser Scanner) o su processi di fotogrammetria digitale (SfM - Structure from Motion), è bene premettere che, ad oggi, i principali software BIM nel campo dell'architettura, fra questi Autodesk Revit utilizzato nel corso della ricerca, permettono di importare *nuvole di punti* in ambiente BIM, e visualizzarle nella loro tridimensionalità. Non a caso, avendo compreso le prospettive di sviluppo di questo mercato, negli ultimi tempi sono stati sviluppati diversi *tools* e *plug-in* specifici allo scopo di incrementare le funzionalità dei più comuni applicativi BIM proprio nella gestione delle *nuvole di punti* come collegamenti esterni (fig. 2.1); sebbene siano impensabili processi automatici di riconoscimento ontologico o geometrico, tali funzionalità sono cresciute e si affinano costantemente e, grazie anche ai suddetti *plug-in*, oggi si possono importare solo determinati punti, riconosciuti come *snap points*, o individuare geometrie primitive nonché tracciare nello spazio curve di interpolazione tra i punti utili per la successiva modellazione degli oggetti digitali (fig. 2.2).

Premesso che una *nuvola di punti*, seppur ottenuta dalla registrazione di più scansioni *laser* effettuate nel migliore dei modi, rappresenta pur sempre un *modello numerico* della realtà³, descrivendo pertanto la superficie continua e indistinta delle cose, è d'obbligo interrogarsi su come nella modellazione in ambiente H-BIM si potranno riconoscere quei dati che consentono la "discretizzazione" della realtà, per giungere alla definizione di un *modello geometrico* della stessa, arricchito nel caso specifico anche da ben altre informazioni di natura semantica. Con quali certezze si può superare la superficie rilevata per ricostruire la conformazione tridimensionale solida dei componenti architettonici non direttamente visibili? In che modo poi si possono stabilire ontologie e regole di aggregazione degli oggetti digitali? Come si può definire il limite tra l'evidenza e l'ipotesi soggettiva? In sintesi, quali sono le premesse teoriche e le strategie operative che possono garantire il rigore scientifico in questi processi di avanzamento della conoscenza? Questi sono forse i primi fra i molti inter-

rogativi da cui è mossa la ricerca di tesi che, oltre che a livello operativo, si è concentrata sulle suddette questioni da un punto di vista teorico data la convinzione dell'importanza di garantire il rigore scientifico di questi processi interpretativi e la necessaria "trasparenza" (Brusaporci, 2016), così come di esplicitarne il "livello di affidabilità" (Nicastro, 2016, pp. 171-172) nelle modalità più idonee.

Gli obiettivi della ricerca sono ambiziosi e le questioni poste, in particolare sui temi connessi alla "trasparenza" e "affidabilità" dei modelli, non sono di facile risoluzione; nell'ambito disciplinare del Disegno gli orientamenti di ricerca sono diversi ma, certamente il tema del BIM non può essere ignorato. Gli sforzi richiesti per la comunità scientifica saranno assolutamente giustificabili in vista di possibili scenari futuri in cui sarà possibile lavorare su reti di banche-dati⁴ BIM dei beni del Patrimonio Culturale, elaborate a scopo divulgativo o per simulare e pianificare attività sul costruito, di conoscenza o di intervento, sempre più consapevoli. Una volta compresi i presupposti teorici e la logica alla base dei sistemi di *Building Information Modeling*, ci si renderà conto che la vera innovazione nell'utilizzo dei sistemi BIM non risiede nell'apparente velocità con la quale si possono ricavare dal modello virtuale i relativi elaborati grafici bidimensionali, costantemente e automaticamente aggiornati al variare del modello, bensì nel fatto che il processo BIM favorisce meccanismi virtuosi per la qualità dei processi, sia esso di costruzione o di intervento sull'esistente, facilitando l'integrazione delle competenze professionali nonché lo scambio e la condivisione delle informazioni multidisciplinari e multiscalarari, fondamentali tanto nella progettazione integrata del nuovo quanto nelle attività sul Patrimonio Culturale. Tra i principali obiettivi della ricerca vi è quello di definire dei criteri metodologici chiari per l'applicazione dei sistemi BIM nel rilievo e nella gestione del Patrimonio Culturale, per comprendere quanto i risultati possano essere validi dal punto di vista della precisione del modello, e importanti nella possibilità di raccogliere in un unico modello digitale dati eterogenei e facilmente accessibili relativi al manufatto architettonico di studio. Nel parlare di "precisione" di un modello informativo è bene fare una parentesi per chiarire che, con questo termine, nella ricerca non si vuole prende-

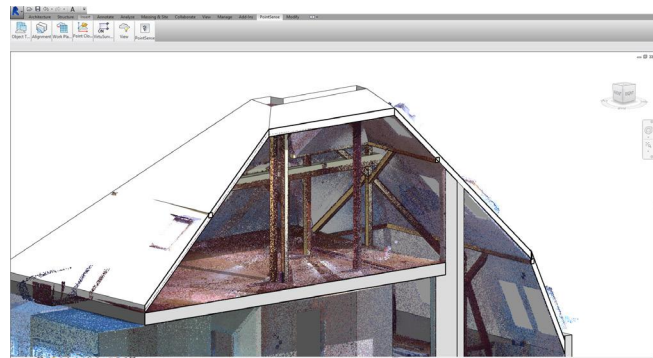


Fig. 2.2 – Elaborazioni in ambiente BIM su points cloud in un'immagine tratta dal web dimostrativa del plug-in Pointsense for Revit.

re in considerazione la sola esattezza geometrica degli oggetti digitali, bensì anche il livello di rispondenza di questi alla realtà oggetto di studio, in riferimento agli obiettivi di conoscenza che in una qualsivoglia attività sul patrimonio è necessario stabilire in via preventiva (ad esempio nella fase del progetto di rilievo). Il riferimento al pensiero di De Rubertis, a tal proposito, è inevitabile; nel processo di discretizzazione e conseguente rappresentazione (si legga modellazione) della realtà, la "precisione" di un disegno (si legga modello informativo) risiede anche nella chiarezza delle sue ragioni, ovvero nella capacità di documentare ciò che del reale si è inteso evidenziare, tralasciando le informazioni considerate trascurabili (De Rubertis, 1994, pp. 25-28). Continuando in questa possibile reinterpretazione in ottica BIM dei concetti espressi dallo studioso sul Disegno, nella modellazione informativa dell'ambiente costruito, data l'ingente mole di dati da implementare nel *database*, si può correre il rischio di generare delle rappresentazioni ambigue, dove si comunica molto ma in modo incerto e confuso, come nei disegni che De Rubertis definisce "ad alta entropia" (De Rubertis, 1994, pp. 25-28). Queste sono solo alcune delle ragioni che confermano oggi l'importanza di un approccio consapevole e ragionato ai nuovi strumenti di *Information and Communication Technology* per la rappresentazione digitale che si rendono man mano disponibili sul mercato, nel caso specifico i sistemi BIM, coscienti della cultura propria del settore disciplinare del Disegno dell'Architettura.

2.2 L'approccio consapevole al metodo BIM: riflessioni e premesse teoriche della ricerca

2.2.1 Modellare, costruire, conoscere

La costruzione del modello virtuale di una realtà complessa per composizione di oggetti digitali semplici, a loro volta composti da elementi di base ancor più semplici, è caratteristico dei sistemi BIM e ne rende naturale il parallelo con i processi costruttivi del reale; nella maggioranza dei casi, infatti, un edificio può essere inteso come un insieme coordinato di elementi tecnologici semplici (Bianchini et al., 2016a, p.10.4), spesso standardizzati per tipologia e dimensioni, connessi fra loro nei modi più disparati secondo logiche progettuali e tecniche costruttive per buona parte prevedibili e controllabili. Non a caso, come è noto, lo sviluppo dei sistemi BIM è strettamente connesso all'industria delle costruzioni, e nasce con la volontà di migliorare il controllo sul processo edilizio in generale; diverse aziende produttrici, in quest'ottica, hanno già provveduto a sviluppare i modelli BIM dei loro prodotti commerciali (si pensi tanto agli elementi architettonici più consueti quanto alle più complesse componenti impiantistiche), al fine di consentire ai progettisti di integrare tali oggetti digitali preconfezionati, ben più evoluti dei cosiddetti "blocchi" CAD, nei loro progetti, se sviluppati con l'ausilio di applicativi di BIM *authoring*. In ambito progettuale (architettonico, strutturale ed impiantistico), non a caso, la natura degli applicativi BIM segue la tendenza recente del mondo delle costruzioni di prediligere tecniche costruttive basate sempre più sulla produzione controllata e seriale, nonché sull'assemblaggio preventivo dei componenti fuori opera. All'interno dell'ambiente digitale BIM, nell'elevata corrispondenza che si può pertanto raggiungere tra modello virtuale ed oggetto reale, è possibile evidenziare ed anticipare incongruenze e criticità la cui risoluzione, in fase progettuale, determina notevoli vantaggi nell'intero processo decisionale e costruttivo (Bianchini et al., 2016a, p.10.2) in termini di efficienza e riduzione dei costi; in tal senso, è innegabile che nell'analisi delle interferenze tra le soluzioni progettuali architettoniche, strutturali ed impiantistiche, data l'odierna complessità degli elementi in gioco

nei manufatti, il disegno tradizionale rivela i suoi limiti naturali, legati a visioni parziali e statiche del manufatto. Circa l'immediatezza che i modelli tridimensionali possono offrire nella comprensione di determinate soluzioni progettuali, scrive Riccardo Migliari che «la costruzione di un edificio non è cosa che si possa improvvisare: troppo complessa è la natura statica, funzionale ed estetica, troppo articolati i rapporti che l'edificio intrattiene con il paesaggio circostante. Per progettare, architetti e designer si servono dunque di modelli, che consentono loro di simulare la costruzione e di prevederne il comportamento e gli effetti sull'intorno» (Migliari, 2003, pp. 13-15). Dal Rinascimento in poi, si assiste infatti ad un'evoluzione della progettazione architettonica, con l'introduzione di modi diversi di percepire e disegnare lo spazio costruito, e il ricorso a modelli, intesi come forme o stampi, a sottolineare la consistenza fisica di un concetto astratto, l'idea dell'architetto, resosi forma plastica e tangibile (seppur in scala ridotta). Inutile ribadire quanto consueto e importante sia stato, in questi ultimi anni, il ricorso ai modelli digitali per la visualizzazione (e rappresentazione) tanto del progetto quanto dei beni culturali; specificatamente nell'ambito del Patrimonio Culturale, la comunità scientifica ha ormai sancito l'importanza di tali strumenti digitali di modellazione nei processi di conoscenza, sottolineando che il modello rappresenta a tutti gli effetti l'interpretazione critica degli studiosi (Docci et al., 2009). Come appurato anche a livello operativo nel corso della presente ricerca, l'introduzione dei sistemi informativi di modellazione determina un'ulteriore avanzamento tecnologico e culturale che, non a caso, ha indotto alcuni studiosi a definire quello informativo come un "modello complesso [...] interattivo, manipolabile, interrogabile, navigabile, poli-visualizzabile, ultimo ma ultimo nucleo di aggregazione per le informazioni» (Brusaporci et al., 2013, p. 64), che non si limita alla sola esperienza di percezione visiva dell'architettura ma ne favorisce la lettura per elementi costitutivi, per di più dotati in un certo senso di una loro "intelligenza".

L'analisi della realtà attraverso la scomposizione e la lettura delle sue componenti costitutive è un meccanismo di conoscenza usuale in architettura, ragion per cui, con le dovute cautele, è possibile riflettere su un parallelo tra la

modellazione per oggetti in ambiente BIM ed i processi tipici dell'analisi grafica di un manufatto architettonico, così come delineata da Mario Docci negli anni in diverse sue pubblicazioni sul tema (Docci, 1989, 2009). A tal proposito, durante un recente seminario sull'attualità dell'analisi grafica svolto sulle architetture del Foro Italico di Roma, nel ciclo di lezioni sul Disegno nel corso di alta formazione del dottorato di ricerca, è stato interessante “abbandonare” temporaneamente gli strumenti digitali per tornare a comprendere a pieno la forza del disegno “tradizionale”, inteso come strumento di analisi critica e di comprensione del reale; in particolare, avendo scelto di analizzare il celeberrimo edificio di Luigi Moretti noto

come “Casa delle Armi” (fig. 2.3), attraverso il ricorso ad un esploso assonometrico (fig. 2.4) si è potuta “scomporre” l'unità dell'organismo architettonico nei suoi elementi costitutivi e, nel caso particolare, svelare il rapporto armonioso che in esso intercorre tra la composizione volumetrica e le soluzioni tecnologiche, tra le strutture portanti e la particolare configurazione degli spazi interni; fra tutte, il disegno concorre ad evidenziare la raffinatezza formale e tecnologica della soluzione per l'intradosso curvo della copertura della grande “sala della scherma” (fig. 2.5), con le travi reticolari estradossate e le due volte in cemento armato gettato in opera. Ciò detto, basti pensare a come, secondo procedimenti analoghi dal punto di vista teorico,



Fig. 2.3 – Veduta esterna della Casa delle Armi realizzata durante il regime fascista da Luigi Moretti al Foro Italico in Roma.

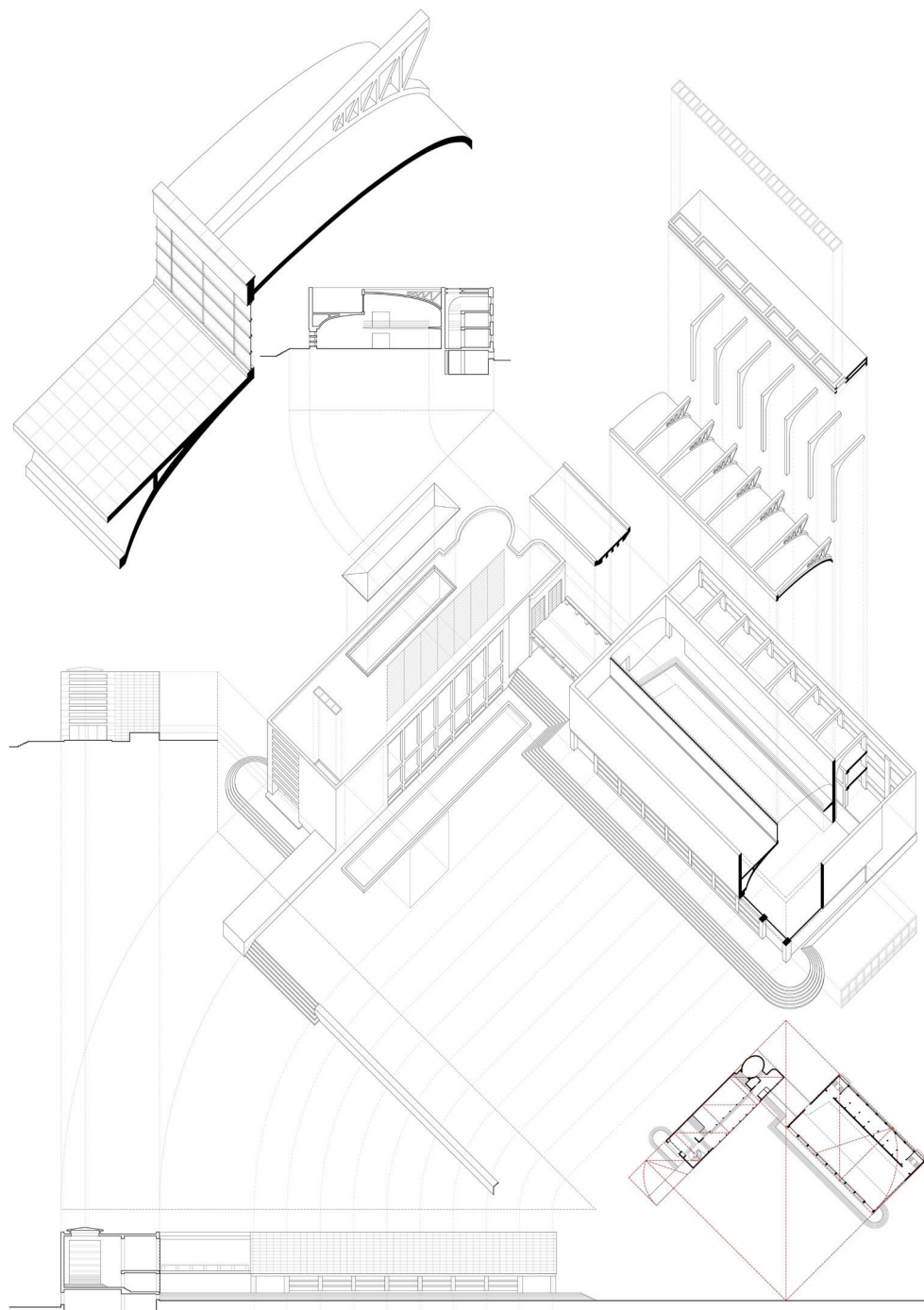


Fig. 2.4 – Analisi grafica della Casa della Scherma al Foro Italico in Roma attraverso l'elaborazione di un esploso assometrico dell'autore.

il processo di conoscenza del medesimo manufatto architettonico potrebbe pertanto essere implementato in ambiente H-BIM, attraverso la modellazione parametrica per oggetti digitali (direttamente nello spazio tridimensionale) e attraverso la loro caratterizzazione semantica.

Considerate le caratteristiche morfologiche del manufatto suddetto, e in più in generale del patrimonio di mirabili architetture moderne del medesimo periodo, i risultati di questi processi, che si potrebbe definire di “analisi grafica dinamica”, sarebbero certamente entusiasmanti data la possibilità, una volta modellate le principali componenti, di effettuare innumerevoli visualizzazioni in tempi relativamente ridotti e secondo punti di vista tematici diversi. Continuando il parallelo con il metodo dell'analisi grafica, oltre che nello studio dell'esistente, è evidente che tale approccio metodologico sarebbe valido anche per la progettazione, sia nella fase di simulazione del reale che in quella della comunicazione del progetto così che, citando Franco Purini, «lo sguardo specifico dell'architetto sul mondo, ovvero il disegno, sappia interrogarsi sulle cose, distinguendole nella loro identità, scomponendole nelle loro parti per poi ricomporle in un ordine nuovo, quello in cui le cose stesse si rivelano all'improvviso incomplete, desiderose di essere trasformate, ultimate, iscritte in nuovi contesti» (Purini, 2006), in un sistema sintetico ma non approssimativo di informazioni elette, valutate e riconoscibili ai fini di una conoscenza “profonda” del manufatto architettonico.

Tutto ciò premesso, nella modellazione per oggetti digitali, resta comunque evidente che i meccanismi virtuosi prospettati dall'adozione dei sistemi di *Building Information Modeling* entrino in crisi nel momento in cui si voglia trattare, in ambiente H-BIM, il rilievo o l'intervento su un manufatto architettonico esistente; infatti, per quanto anche gli edifici esistenti possano essere scomposti in elementi ricorrenti, e per quanto le operazioni di rilevamento possano mostrare la regolarità di determinate configurazioni geometriche o la serialità di determinati elementi, la modellazione parametrica e informativa dell'esistente è ben più complessa, sia dal punto di vista della traduzione geometrica del *continuum* reale che della descrizione qualitativa (e semantica) dello stesso. Sebbene possa sembrare



Fig. 2.5 – La Sala della Scherma nella Casa delle Armi al Foro Italico, Roma 1933 (Archivio Centrale dello Sato, Fondo Luigi Moretti).

una considerazione ovvia, tali difficoltà mutano al variare delle caratteristiche intrinseche del manufatto esistente oggetto di studio; basti pensare alla complessità di tradurre la geometria di determinati elementi dell'architettura antica, o alla difficile rappresentazione in ambiente BIM degli effetti variabili che il passare del tempo e gli agenti atmosferici possono determinare sulle superfici o a livello strutturale (si pensi alla configurazione deformata di elementi architettonici o strutturali).

Considerando i modelli informativi anche come mezzi di “visualizzazione digitale” dei beni culturali, oltre che del superamento di tali difficoltà operative in ambiente H-BIM, è impossibile non tenere conto delle questioni di natura teorica evidenziate con acutezza dalla Carta di Londra⁵, riferita però all'ambito più specifico delle visualizzazioni *computer-based* del Patrimonio Culturale (Brusaporci et al., 2013; Brusaporci, 2016); nella costruzione di modelli relativi al patrimonio storico, che nella maggior parte dei casi non possono non essere definiti che “ideali” (data l'inevitabile processo di semplificazione e discretizzazione), il rischio di eludere la “distinzione tra informazione e speculazione” (Denard, 2016, p.65) è notevole, soprattutto qualora non vengano attuate ed esplicitate rigorose premesse metodologiche e conseguenti strategie operative trasparenti (Niccolucci et al., 2010).

2.2.2 La definizione ontologica dei BIM-object nella strutturazione semantica del modello

Se nel passaggio dal *modello numerico* di una determinata realtà al relativo *modello geometrico* della stessa si compie un'operazione critica fondamentale di discretizzazione della realtà indistinta delle cose, è d'obbligo considerare che la costruzione del modello BIM di un manufatto implica un ulteriore passaggio critico, quello della strutturazione semantica degli elementi "intelligenti" che lo costituiscono; tale operazione ontologica, innegabilmente soggettiva, va ben oltre il riconoscimento o la definizione delle caratteristiche geometriche degli elementi costituenti il modello. Dal *continuum* reale al "discreto digitale" (Inzerillo et al., 2016, p.16.4), in ambiente BIM, l'operatore si muove in una sorta di dominio, all'interno di una struttura dati implementabile e di tipo gerarchico, nella quale sono contenute le entità (gli oggetti digitali) la cui aggregazione, secondo relazioni reciproche di sussunzione⁶ o appartenenza, regole di comportamento e vincoli, determina l'effettiva costruzione del modello virtuale informativo. Il fatto che la formulazione del modello in ambiente H-BIM di un qualsivoglia manufatto esistente non avvenga solo "per forma", ma anche e soprattutto "per contenuto", ha pertanto indotto diversi studiosi a parlare di "riconoscimento ontologico delle parti" (Di Luggo et al., 2016b), riferendosi alle applicazioni nel mondo dell'Informatica dell'ontologia formale; in sintesi, un'ontologia altro non è che una "formalizzazione di contenuti" all'interno di una rete logica (dominio) strutturato per classi (significati degli elementi), proprietà (descrizioni degli elementi) e relazioni (vincoli). Considerando che la lettura di un manufatto esistente, integrato nel suo contesto di appartenenza, non può essere semplicemente di tipo "quantitativo" (Bianchini et al., 2016a, p.10.3), all'analisi metrica degli elementi che lo compongono deve necessariamente accompagnarsi lo studio dell'evoluzione della fabbrica, ovvero delle ragioni storiche, culturali e tecnologiche per cui, quel determinato manufatto, è da ritenersi un *unicum*. Consapevoli dell'inesistenza, o meglio, dell'impossibilità di ricorrere a sistemi automatici in grado di riconoscere e "svelare" le suddette ragioni, l'operazione di strutturazione semantica

del modello virtuale informativo è quanto mai importante per giungere ad una conoscenza del manufatto che possa considerarsi profonda in un processo che non è da intendersi affatto come una "semplice descrizione tassonomica" (Acierno et al., 2017, p. 126) dell'esistente. Inutile ribadire che, a tal proposito, presupposto fondamentale è che le fasi di progettazione del rilievo (analisi del manufatto, definizione degli obiettivi, analisi del contesto, analisi degli strumenti e delle risorse a disposizione, ...) e di acquisizione dei dati (operazioni di rilevamento dirette e indirette, indagini diagnostiche distruttive e non, indagini bibliografiche e d'archivio, ...) siano eseguite con un approccio il più possibile scientifico; avere a disposizione un'ingente mole di dati, infatti, non comporta automaticamente un elevato livello di conoscenza dell'oggetto di studio (Inzerillo et al., 2016, p.16.2).

Ad oggi, diverse ricerche sui sistemi di *Historical-BIM* si sono concentrate sulla creazione di librerie di oggetti digitali parametrici e "riutilizzabili" (Lo Turco et al., 2017) perché considerati tipici dell'architettura storica (fig. 2.6), con particolare riferimento agli elementi che rispondono alle costruzioni ideali dei trattati di architettura (Apollonio et al., 2012; Chiabrando et al., 2017b; Paris et al., 2016). L'operazione è ambiziosa, encomiabile e, in un certo senso, inevitabile affinché la lettura in ambiente BIM del costruito storico possa essere facilitata dal ricorso a questi oggetti digitali primitivi⁷; archiviati in apposite librerie, che un giorno potrebbero essere validate e messe a disposizione della comunità scientifica, tali oggetti digitali dovranno pur sempre essere considerarsi ideali. I rischi di una standardizzazione dei processi e della codifica di strategie operative aprioristiche non sono infatti da sottovalutare, date le implicazioni sulla "scientificità" cui bisognerebbe tendere nella conoscenza dell'unicità di un bene del patrimonio esistente, specie se d'interesse storico-culturale. Più in generale, è bene ricordare sempre che la componente diacronica degli elementi che costituiscono un bene del Patrimonio Culturale non può essere ignorata, e che è necessario limitarne la perdita nella naturale semplificazione e idealizzazione (Bianchini et al., 2016a, p.10.4) della realtà in ambiente virtuale. In particolare nell'ambito H-BIM, il pericolo maggiore non risiede tanto

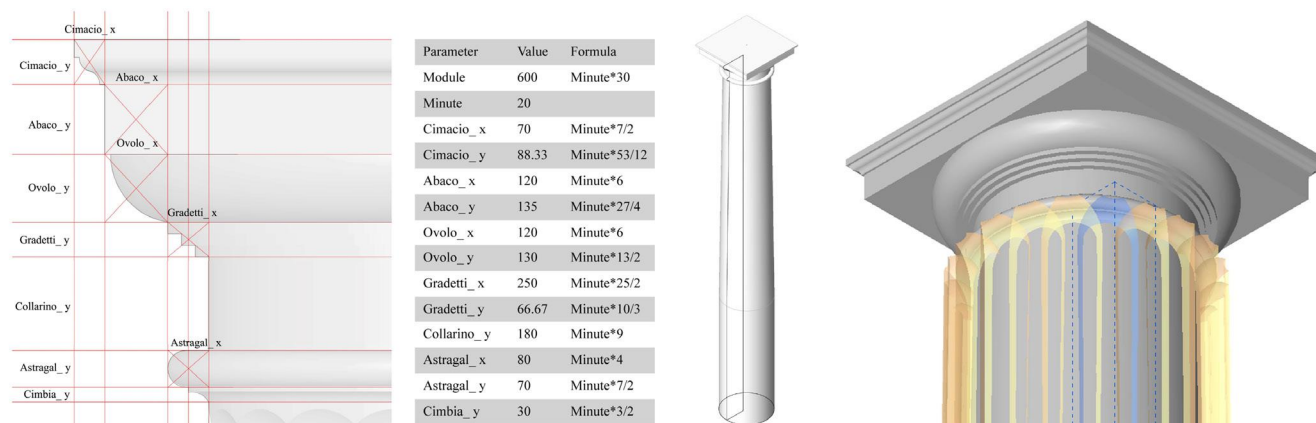


Fig. 2.6 – Studio dell'organizzazione semantica e delle peculiarità dimensionali modulari degli elementi dell'ordine dorico per la creazione del modello parametrico informativo di una colonna e del relativo capitello, in un'immagine tratta dalla ricerca di Apollonio, F. I., Gaiani, M. e Zheng, S. (Apollonio et al., 2012, p. 49).

nello scostamento possibile tra la geometria reale dell'elemento e la sua traduzione in ambiente BIM, quanto nella ripetizione poco attenta degli oggetti digitali stessi della libreria; ad esempio, eseguita l'analisi approfondita solo su un ristretto campione degli elementi architettonici rilevati (anche con tecniche di acquisizione massiva), e modellate le corrispondenti "famiglie" di oggetti digitali, il rischio maggiore risiede nella replica delle stesse, con possibili errori nel processo di definizione ontologica e con probabili perdite nella comprensione dell'unicità e della singolarità delle caratteristiche peculiari degli elementi dell'opera.

Tutto ciò premesso, sono leciti i dubbi di molti studiosi dell'ambito disciplinare del rilievo circa le reali possibilità di tradurre in ambiente BIM manufatti di interesse storico-culturale particolarmente complessi; lo sforzo richiesto per modellare un'infinità di singole componenti (Bianchini et al., 2016a, p.10.4), infatti, non solo andrebbe a contraddire la natura insita dei sistemi BIM ma, seppur possibile, renderebbe nulli i vantaggi dell'adozione di questi sistemi dal punto di vista della produttività in termini di tempi e costi. In conclusione, considerate comunque le indubbie potenzialità dei sistemi di *Historical Building Information Modeling*, il ruolo che la comunità scientifica potrà giocare è fondamentale sia per studiare criteri e metodi per una valida strutturazione semantica dei modelli informa-

tivi che per superare le difficoltà, più volte sottolineate, legate alla rigidità della modellazione per oggetti digitali che contrasta con la variabilità, l'unicità e le specificità materiche, storico-culturali e costruttive caratteristiche dell'ambiente costruito, soprattutto se di interesse storico o in cattivo stato di conservazione.

2.2.3 I requisiti di intelligenza nella modellazione in ambiente BIM

Nei processi di *Building Information Modeling*, come è noto, il modello è spesso sviluppato con finalità costruttive, per la necessità di simulare e governare la complessità di una realtà immanente o di una prefigurata nel progetto; ragion per cui, le differenze con i modelli tridimensionali elaborati per la sola comunicazione visiva del modello virtuale sono notevoli. Nell'elaborazione di modelli volti alla visualizzazione digitale del progetto, ad esempio attraverso i cosiddetti processi di *rendering*, per la costruzione delle "scene" si fa spesso ricorso ad *escamotage* operativi o a processi di post-produzione, giustificabili in quanto l'obiettivo principale del lavoro è che l'immagine prodotta sia valida e pregnante dal punto di vista dell'espressività. Tali *escamotage*, nella modellazione informativa in ambiente BIM, sono impensabili in quanto la sequenza delle

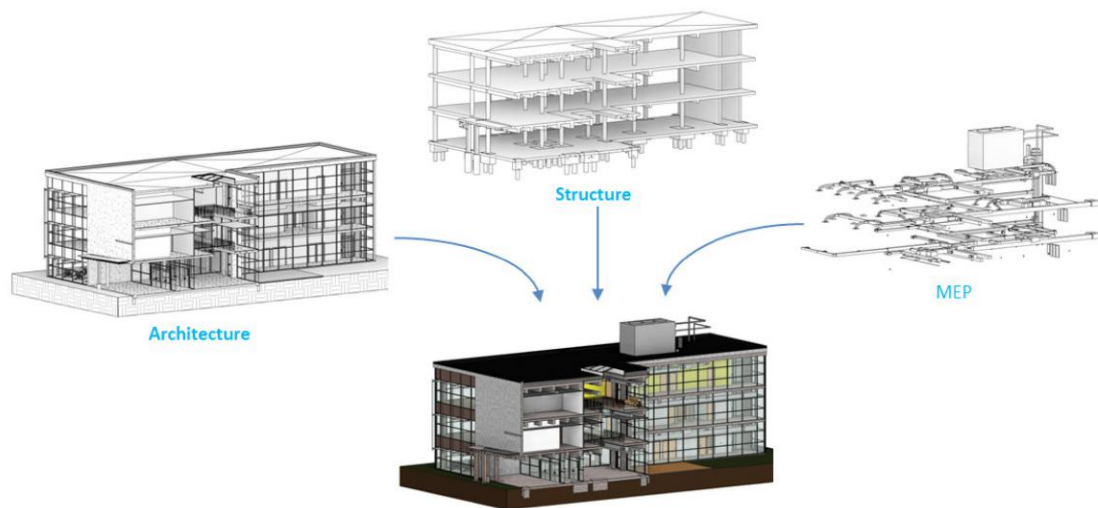


Fig. 2.7 – Il modello informativo centralizzato in un’immagine esplicativa tratta dal portale di Autodesk Inc. <https://www.autodesk.com>.

operazioni è in un certo senso “obbligata”; più precisamente, la composizione degli oggetti digitali nel corso della modellazione deve rispondere a determinati requisiti di “intelligenza”, connessi tanto alla definizione ontologica degli stessi, dal punto di vista semantico, quanto alla definizione parametrica delle variabili dimensionali dal punto di vista geometrico. Gli elementi costitutivi, siano essi già presenti nelle librerie dei *software* BIM o generati *ad hoc*, hanno infatti delle caratteristiche dimensionali e prestazionali legate al mondo reale, in un sistema di corrispondenze ben più rigido rispetto alle convenzionali rappresentazioni simboliche; ragion per cui, anche dal punto di vista dell’intelligenza del loro comportamento parametrico, alcuni oggetti digitali possono essere utilizzati nel modello solo se in relazione ad altri che in un certo senso li “ospitano”, ovvero in ragione delle modifiche e delle conseguenze che tali elementi implicano sugli altri cui sono legati⁸.

Ciò premesso, è più facile comprendere quale sia la complessità e la varietà delle informazioni che attraverso i componenti “intelligenti” del modello BIM bisogna gestire nei modelli BIM (fig. 2.7) rispetto ai modelli tridimensionali di uso più comune, soprattutto in riferimento alle regole di comportamento parametrico definibili. Seppur relativa all’ambito generale delle visualizzazioni *computer-based* dei beni culturali e non specificatamente del *Historical*

Building Information Modeling, la Carta di Londra riflette proprio sulle potenzialità dei nuovi strumenti digitali nella gestione dei “rapporti di dipendenza” (Denard, 2016, p. 67), ovvero delle relazioni tra le diverse informazioni che questi possono elaborare. Le visualizzazioni digitali (fig. 2.8) vengono infatti considerate anche come potenti mezzi empirici per esplorare le implicazioni che ogni “parte di conoscenza” determina su un’altra parte di conoscenza a questa legata; pertanto, la costruzione della conoscenza di un bene del Patrimonio Culturale può essere molto favorita dalle possibilità che questi nuovi strumenti digitali offrono nel confronto sistematico e iterativo tra i dati e le ipotesi, per quanto inevitabile sia la soggettività delle scelte interpretative, stilistiche ed estetiche. In questo possibile parallelo con quanto già affrontato dalla comunità scientifica nell’ambito della cosiddetta “Archeologia Virtuale” (Gabellone, 2012), un’immagine statica o in *real-time* relativa ad un’opera (si pensi alla ricostruzione virtuale di un bene archeologico) può avere sì una grande carica espressiva ma rischia, qualora non vengano seguiti determinati principi e accorgimenti, di non rivelare il “rigore scientifico” che sottende la costruzione di tale immagine da parte dell’autore, ad esempio nella ricerca, interpretazione ed esplicitazione delle fonti (Denard, 2016, p. 60). Nonostante le ovvie differenze tra i processi digitali di

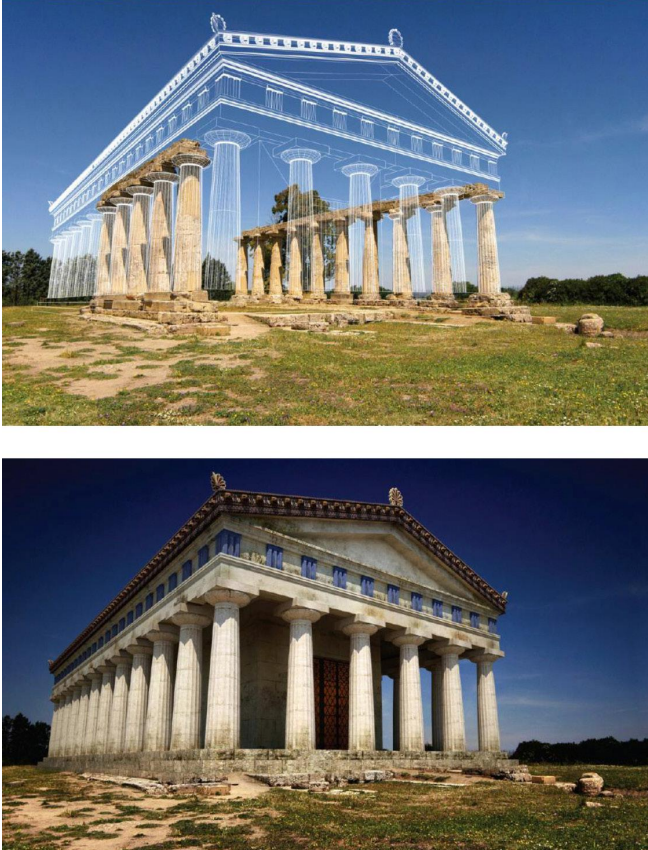


Fig. 2.8 – Visualizzazioni digitali della ricostruzione virtuale del Tempio di Hera a Metaponto in un'immagine tratta dal progetto "Metaponto Virtual Visit" promosso dalla Sovrintendenza ai Beni Archeologici della Basilicata (Gabellone, 2012, p. 102).

ricostruzione virtuale nel campo dell'archeologia e i processi di modellazione in ambiente BIM di un manufatto architettonico, si può affermare che determinati principi guida, delineati dalla Carta di Londra (AA. VV., 2016) e da successivi documenti quali la Carta di Siviglia⁸, siano in un certo senso validi anche nell'ambito dei processi di *Historical-BIM*; nel corso della ricerca, ci si è resi conto di quanto, nei processi conoscenza della realtà attraverso il BIM, sarebbero necessarie iniziative internazionali simili per la creazione di specifiche linee guida a garanzia della scientificità e trasparenza (Brusaporci et al., 2013, p.65) di tali processi sul *Cultural Heritage*.

2.3 I nuovi flussi di lavoro BIM-oriented: aspetti metodologici della ricerca

Al fine di descrivere lo sviluppo della ricerca dal punto di vista più strettamente metodologico, si può affermare che il percorso si sia sviluppato, in estrema sintesi, in quattro macro-fasi:

- Inquadramento teorico generale dei processi *BIM-oriented*, definizione dell'ambito di interesse specifico della ricerca, definizione degli obiettivi, individuazione del caso studio per l'esperienza di applicazione sperimentale, definizione preliminare del *workflow* da seguire;
- Supporto alla campagna di rilevamento integrato sul caso studio, indagini di natura archivistica e bibliografica sul manufatto e il contesto, analisi ed elaborazione preliminare dei dati, impostazione generale del modello virtuale in ambiente H-BIM, traduzione dei dati a disposizione in oggetti digitali costituenti il modello informativo;
- Esecuzione campagna di acquisizione dati di approfondimento, analisi *in itinere* dei risultati raggiunti nell'applicazione sperimentale in ambiente H-BIM, affinamento e personalizzazione delle strategie operative di traduzione geometrica e strutturazione semantica del modello virtuale del manufatto;
- Analisi dei risultati raggiunti o disattesi, introduzione e codifica di nuove strategie metodologiche ed operative per i processi H-BIM, emissione del modello virtuale, verifica delle potenzialità e degli aspetti critici del processo in termini di affidabilità, geometrica e ontologica, di elaborazione grafica dei risultati, di scambio dati, di interoperabilità e di interattività.

Con l'intento di inquadrare il tema generale del BIM a livello teorico, così come di supportare la definizione delle strategie di natura più strettamente operativa con giustificazioni teoriche, nel corso della ricerca ci si è costantemente interrogati su diverse questioni fondanti dell'ambito stesso del Disegno alcune delle quali già anticipate nei paragrafi introduttivi, altre emerse nel corso dell'applicazione sperimentale sul caso studio. Per il controllo del possibile equivoco che in ambiente BIM può nascere tra simulazione e rappresentazione, e considerate le caratteristiche proprie di questa nuova tipologia di model-

li informativi (interdisciplinarietà, multidimensionalità, multiscalarità), nella ricerca sono state infatti indagate le possibilità di rappresentazione (rappresentabilità) dei dati informativi, anche di natura non geometrica.

Una volta inquadrati gli obiettivi della ricerca a livello teorico, per la definizione di metodologie di lavoro coerenti ed efficaci in ambiente H-BIM, si è deciso di affrontare un caso studio, proprio nell'ottica di testare l'integrazione delle "necessità conoscitive" e delle "possibilità simulate" che i sistemi BIM promettono, anche nell'ambito del patrimonio costruito. L'applicazione sperimentale si è rivelata assolutamente necessaria per la validazione e la correzione *in itinere* delle metodologie di lavoro ipotizzate, soprattutto nell'ambito specifico della traduzione

dei dati provenienti da acquisizioni massive nel modello virtuale del manufatto architettonico scelto. Inutile dire che, attraverso l'applicazione sperimentale, si son potute convalidare alcune riflessioni teoriche preliminari, relative all'attualità dei principi fondanti dell'ambito disciplinare del Disegno per l'utilizzo corretto ed avanzato dei sistemi di *Building Information Modeling*, ed alla definizione di strategie per garantire quel rigore scientifico imprescindibile in qualsiasi attività che abbia per oggetto il Patrimonio Culturale. Nel corso dell'applicazione sperimentale, inoltre, si son potute studiare anche le potenzialità del modello virtuale BIM, inteso come *database* relazionale multidisciplinare, per lo scambio di informazioni tra utenti esperti (*Building Information Exchange*), e per la visualizzazione



Fig. 2.9 – Roma - Inaugurazione della città universitaria - fotogramma tratto dal contenuto video relativo al Giornale Luce B0776 - archivio digitale dell'Istituto Luce <http://www.archivioluce.com>.

interattiva del Patrimonio Culturale da parte dell'utente comune attraverso *database web centered*.

Nell'ambito del processo H-BIM che, come si vedrà più nel dettaglio, ha avuto per oggetto l'Istituto di Geologia e Mineralogia di Giovanni Michelucci a Roma, interessante e molto utile è stata la fase di ricerca bibliografica e di materiale d'archivio; infatti, come auspicato nel terzo capitolo della già citata Carta di Londra, le fonti d'archivio analizzate dovrebbero essere sempre identificate e valutate in modo strutturato e documentato (Denard, 2016, p. 66) al fine di garantire il "rigore intellettuale" dei processi di elaborazione critica sul *Cultural Heritage*. Considerata l'opera di Michelucci nel suo contesto fisico e storico, è stato possibile reperire diverso materiale d'archivio, in buona parte già digitalizzato in riferimento alla costruzione e all'inaugurazione della città universitaria di Roma, quali cinegiornali (fig. 2.9) e fotografie dall'archivio digitale del noto Istituto Luce. Facendo particolare attenzione al modo in cui le fonti visive possono essere influenzate da fattori ideologici, storici, sociali, religiosi ed estetici (Denard, 2016, p. 66), il materiale d'archivio si è rivelato molto utile nel processo di analisi del manufatto, soprattutto in merito all'evoluzione storica dello stesso e alle tecnologie costruttive adottate durante la costruzione.

Nella conduzione della ricerca, soprattutto nella fase di applicazione sul caso studio, si sono dovuti acquisire e trattare dati di natura eterogenea, ricorrendo pertanto a diversi strumenti *hardware* e *software*. Relativamente all'Istituto di Geologia e Mineralogia, si disponeva già di un discreto quantitativo di dati, derivanti da un rilevamento integrato condotto in un seminario con altri dottorandi prima dell'inizio della ricerca; ciò nonostante, si è scelto nel corso della ricerca di implementare i dati a disposizione, predisponendo un sintetico progetto di rilievo per l'esecuzione di alcuni approfondimenti mirati, integrando metodologie di acquisizione diretta e indiretta. A livello strettamente operativo, questa scelta ha comportato il ricorso ad uno *scanner laser* 3D (Faro), nonché allo specifico *software* per l'operazione cosiddetta di "registrazione" delle *nuvole di punti* delle diverse scansioni *laser* effettuate. Per l'elaborazione delle *nuvole di punti*, ovvero per le operazioni preliminari di eliminazione degli elementi di "disturbo" in

esse contenute, si è scelto di lavorare con il *software Autodesk Recap*, al fine di facilitare l'importazione successiva delle stesse in ambiente BIM come collegamenti esterni. Dopo una veloce analisi delle caratteristiche delle diverse piattaforme di BIM *authoring* sul mercato, per l'esperienza sul caso studio si è scelto di utilizzare *Autodesk Revit*, essendo lo stesso uno fra gli applicativi di BIM *authoring* più diffusi e completi nell'ambito dell'architettura a livello internazionale. La scelta del suddetto *software* nasce dalle possibilità che esso garantisce nell'importazione di *nuvole di punti*, dalla presenza di *plug-in* specifici che ne facilitano la gestione, dalle potenzialità comprovate di modellazione parametrica degli oggetti digitali, e dall'interoperabilità ottimizzata (in fase di importazione ed esportazione) con l'altrettanto diffuso *software* CAD *Autodesk Autocad*. Considerata l'importanza del tema dell'interoperabilità, nella verifica della funzionalità del formato file di scambio dati neutrale IFC, al termine della fase di applicazione sperimentale si è fatto ricorso ad altri *software*, anch'essi rispondenti alle logiche dell'*open-BIM*, ovvero sviluppati con un'attenzione particolare verso le logiche di interoperabilità già discusse in precedenza. Per l'esecuzione di queste verifiche, nonché per testare la visualizzazione e l'interazione degli archivi digitali BIM, si è fatto ricorso ad altri *software* specifici per la cosiddetta *model review*, o per le attività di sola *visualization* quali *Autodesk Naviswork* e *Solibri* di *Nemetschek Company*.

Note

- 1 IPPOLITO, A., BORGOGNI, F., 2011. I modelli 3D nei rilievi di architettura. In DOCCI, M., *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*, Ricerca PRIN 2007. Roma: Gangemi, pp. 71-77.
- 2 Non potendo attingere a librerie di oggetti digitali precostituiti, la generazione di componenti parametrici "intelligenti" nella modellazione di manufatti architettonici esistenti con sistemi H-BIM è spesso esclusiva e, infatti, necessita di un grado di specializzazione dell'operatore molto elevato.
- 3 DOCCI, M., 2011. Tradizione e tecniche innovative nel rilevamento e l'analisi dell'architettura, della città e dell'archeologia. In DOCCI, M., *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*, Ricerca PRIN 2007. Roma: Gangemi.

- 4 Ci si riferisce a quanto già auspicato nella Carta del Rilievo Architettonico, fra i cui enunciati, infatti, leggiamo che «le informazioni derivanti dall'attività di documentazione e rilievo relativa a ciascun organismo architettonico potranno essere organizzate in *banche-dati* sì da consentire, in seguito, la formazione di *reti di banche-dati*». AA.VV., 2000. Verso la "Carta del Rilievo Architettonico". In CUNDARI, C., CARNEVALI, L. (a cura di), *Il Rilievo dei Beni Architettonici per la Conservazione*. Atti del Convegno di Napoli, 15/17 aprile 1999. Roma: Edizioni Kappa.
- 5 La Carta di Londra (<http://www.londoncharter.org/>), tradotta poi in diverse lingue, nonché i progetti successivi ad essa connessi quali la Carta di Siviglia, hanno avuto un importante ruolo di catalizzatori del consenso internazionale sui principi guida delle *best practice* per l'uso delle visualizzazioni *computer-based* nei diversi ambiti disciplinari concernenti il *Cultural Heritage*, ad esempio nell'ambito della cosiddetta *Virtual Archeology*.
- 6 Nella logica formale, con il termine "sussunzione" si intende l'atto di sussumere, ovvero di ricondurre un concetto nell'ambito di quello nella cui estensione esso è compreso.
- 7 Ci si riferisce in particolare alle più recenti ricerche volte alla creazione di librerie di oggetti digitali riutilizzabili, denominati dal gruppo di ricerca con l'acronimo H-BOMs (*Historical Building Object Models*). LO TURCO, M., SANTAGATI, C., D'AGOSTINO, G., 2017. Populating a library of reusable H-BOMs: assessment of a feasible Image Based Modeling workflow. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W5, pp. 627-634.
- 8 Per meglio comprendere tali meccanismi, un esempio chiaro è quello di un oggetto digitale quale una "finestra" il cui inserimento nel modello, se non collegata ad una parete o ad un altro elemento che può "ospitarla", non è possibile o, meglio, è letto come errore dall'applicativo di BIM *authoring*; in sintesi, l'elemento "finestra" ha ragion d'essere nel modello BIM perché legato ad una parete sulla quale lo stesso determina una conseguenza, nel caso specifico un'apertura, automaticamente variabile per dimensioni e conformazione in base alle regole di "intelligenza" proprie dell'oggetto digitale "finestra".
- 9 Si faccia riferimento al principio n. 7 del documento, noto come "Carta di Siviglia" (<http://www.sevilleprinciples.com/>), che definisce gli orientamenti di una larga comunità scientifica su quella che proprio tali studiosi han definito "Archeologia Virtuale"; quest'ultima va intesa come disciplina matura, complementare e a supporto dell'archeologia "classica", e fondata su metodi scientificamente validi ed ampiamente condivisibili; un progetto di archeologia virtuale che possa ritenersi valido a livello scientifico dovrà infatti rispettare metodi e tecniche rigorose, nonché disporre di un'adeguata documentazione a corredo in modo che analisi, tecniche di rilevamento e interpretazioni critiche siano tutte dichiarate, comprensibili e riutilizzabili.

3. Il caso studio dell'Istituto di Geologia e Mineralogia in Roma

3.1 L'opera di Giovanni Michelucci nel contesto della Città Universitaria di Roma

Al fine di testare le metodologie operative ipotizzate nella fase preliminare della ricerca di tesi, è stata di fondamentale importanza la conduzione personale di un'esperienza di applicazione dei sistemi BIM nel processo di conoscenza di uno specifico caso studio. In particolare, il manufatto architettonico di interesse culturale oggetto della ricerca è stato l'Istituto di Geologia e Mineralogia (fig. 3.1), che ospita oggi il Dipartimento di Scienze della Terra della Sapienza, Università degli Studi di Roma. L'opera, di stampo razionalista, fu realizzata tra il 1932 e il 1935, e si trova

all'interno della Città Universitaria, che il regime battezzò *Studium Urbis*, e che rappresenta certamente una fra le più imponenti opere di edilizia promosse a Roma nel periodo fascista. Prima della costruzione dell'istituto, la sede della facoltà era il Palazzo della Sapienza, a quel tempo sede universitaria (Archiginnasio Romano), ed attualmente Archivio di Stato; con l'inaugurazione della Città Universitaria durante il regime, anche il Museo di Geologia fu trasferito nel nuovo istituto, progettato dall'architetto fiorentino Giovanni Michelucci.

Il prospetto principale dell'edificio di Michelucci si staglia in posizione simmetrica alla nota Facoltà di Matematica dell'architetto Giò Ponti, rispetto all'asse principale del

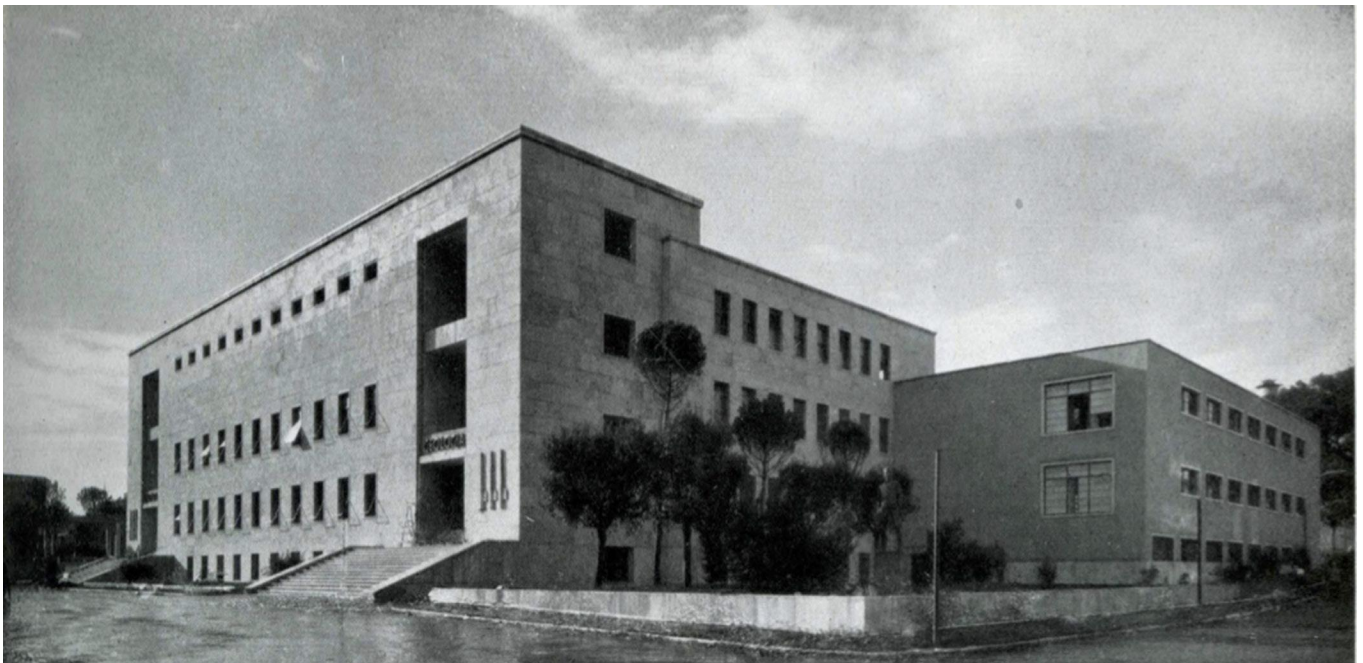


Fig. 3.1 – Istituto di Geologia e Mineralogia, Esterni in A. Pica, *Nuova architettura italiana*, Hoepli, Milano, 1936, p.145.

viale che inizia una volta superato il monumentale ingresso all'ateneo da piazzale Aldo Moro, opera invece dell'architetto Arnaldo Foschini. I suddetti istituti, di Matematica e di Mineralogia, prospettano entrambi sui lati corti opposti della grande piazza della città universitaria, nota per avere le medesime dimensioni della celeberrima piazza Navona e per la statua della Minerva al centro dello specchio d'acqua (fig. 3.2) su cui l'opera di Michelucci si specchia; il fondale della piazza, è costituito dall'imponente edificio del Rettorato, opera invece di Marcello Piacentini, che rappresenta anche la conclusione ideale del grande viale di ingresso, largo quasi sessanta metri. Michelucci e gli altri architetti su citati, erano tutti facenti parte di un ben più nutrito gruppo di giovani progettisti che Piacentini, cui era stata affidata dal regime la direzione generale della realizzazione dello *Studium Urbis*, aveva chiamato a collaborare nelle progettazioni dei diversi edifici.

Rinunciando ai modelli espressivi del funzionalismo organico, presenti in altre sue opere architettoniche come

la Stazione di Santa Maria Novella di Firenze, nel progetto dell'Istituto di Geologia e Mineralogia Michelucci opta per l'uso di canoni più tradizionali e schematici, forse per congruenza con l'imponenza del fronte del Rettorato o, più in generale, in sintonia con il progetto generale della città universitaria. Nel progetto originario, l'edificio era caratterizzato dalla presenza di due ingressi laterali, affiancati da due sporgenze del prospetto a forma di "torre" e adiacenti ai portali; la soluzione che fu poi realizzata, presenta invece un fronte più semplificato e lineare, simmetrico e speculare, con i due podi laterali accessibili tramite scalinate e sormontati da due alti portali di accesso all'edificio (fig. 3.2) caratterizzati da grandi vetrate del tipo a "ferrofinestra". Nella scelta dei materiali principali, lastre di travertino romano per il prospetto principale e intonaco per gli altri prospetti, Michelucci sottolinea un nuovo rapporto tra classico e moderno che egli esprime anche nella commistione delle tecniche costruttive, ovvero nell'uso congiunto della pietra e del mattone con il cemento arma-



Fig. 3.2 – Istituto di Geologia e Mineralogia, Esterni in A. Pica, *Nuova architettura italiana*, Hoepli, Milano, 1936, p.145.

to, l'acciaio e i nuovi materiali dell'architettura moderna¹. Nella configurazione originaria, l'edificio di Michelucci ricopriva una superficie di 2.900 mq, con una cubatura di circa 39.400 mc, ben 200 ambienti dislocati sui tre piani, e una grande aula (fig. 3.3) in comune ai tre istituti con capienza di 250 posti; inizialmente, nel piano seminterrato ed in quello rialzato, era ubicato l'istituto di Mineralogia, mentre il primo ed il secondo piano erano occupati dagli istituti di Geologia e di Paleontologia. Oltre che delle rispettive collezioni, ogni istituto era provvisto di spazi adibiti a piccole aule e laboratori, tutti dotati di strumentazione scientifica; le tre biblioteche poi, erano attrezzate con scaffalature metalliche per ospitare fino a 35.000 volumi; attualmente, la biblioteca del Dipartimento di Scienze della Terra è situata al piano terra del corpo principale, compresa fra i due atrii di ingresso, e nasce dall'accorpamento delle biblioteche dei tre istituti suddetti.

Nelle soluzioni compositive dei prospetti, in particolare di quello principale d'ingresso, l'architettura di Michelucci è

austera e rigorosa, con la presenza di alcuni elementi compositivi classici, quali il basamento e il cornicione lapideo, reinterpretati con un linguaggio contemporaneo e asciutto. All'apparente semplicità che il prospetto principale di ingresso sembra trasmettere, si contrappone un'organizzazione planimetrica degli spazi più movimentata, con alcune articolate soluzioni volumetriche in corrispondenza dei due ingressi sul fronte principale, dei corpi scala a tutta altezza (fig. 3.4), della grande aula cui si accede dal piano rialzato, e delle sale destinate alle esposizioni museali. In questo senso, è da rilevare la raffinatezza di determinate soluzioni di dettaglio che, a distanza di quasi ottanta anni, conservano il loro pregio estetico e la loro valenza tecnologica; basti pensare al gioco volumetrico dei rivestimenti in lastre di travertino in corrispondenza delle nicchie di ingresso a tutta altezza sul fronte principale, o all'estrema cura del dettaglio degli infissi lignei e delle cornici trilitiche con davanzali e gocciolati sagomati da blocchi di travertino, così come all'uso sapiente dei materiali, fra tutti



Fig. 3.3 – Istituto di Geologia e Mineralogia, Aula Magna in A. Pica, *Nuova architettura italiana*, Hoepli, Milano, 1936, p.145.



Fig. 3.4 – Istituto di Geologia e Mineralogia, Corpo scala in A. Pica, *Nuova architettura italiana*, Hoepli, Milano, 1936, p.145.



Fig. 3.5 – Fotoraddrizzamento digitale del prospetto principale di ingresso dell’Istituto di Geologia e Mineralogia, elaborazione grafica ad opera dei dottorandi del XXXI ciclo.

i rivestimenti marmorei negli atri di ingresso e in corrispondenza delle scale principali.

Allo stato attuale, è possibile affermare che l’Istituto ha conservato in linea di massima la sua configurazione originaria, in particolare nei prospetti esterni (fig. 3.5) sebbene, nel tempo, siano stati realizzati alcuni interventi definibili come “superfetazioni” e lo stato di conservazione degli spazi interni non possa certo dirsi buono. Ad esempio, se è vero che l’edificio conserva ancora molti dei pregevoli infissi originali, con telai in legno massello e meccanismi di aiuto alla movimentazione in ferro, o degli arredi su misura a servizio delle aule, è pur vero che diversi e disomogenei sono stati gli interventi attuati nel tempo per adeguamenti funzionali, normativi o impiantistici degli spazi destinate alle diverse attività.

3.2 La conoscenza in ambiente H-BIM del patrimonio culturale architettonico del ‘900

L’opera di Michelucci, nel contesto della città universitaria di Roma, può a pieno diritto essere compresa fra quelle architetture moderne, del periodo fascista o più in generale dei primi decenni del Novecento, per le quali l’inter-

se storico-culturale è innegabile; considerato che gli esiti formali di queste opere sono spesso caratterizzati dalla composizione di geometrie elementari e dalla ripetizione seriale di elementi compositivi relativamente semplici, è evidente che tale patrimonio culturale costruito si presti bene ai processi di conoscenza della realtà condotti attraverso la costruzione di modelli *semantic-aware* in ambiente H-BIM. Considerando inoltre che, tutt’oggi, gran parte del patrimonio italiano di edifici pubblici (scuole, ministeri, ospedali, stazioni ferroviarie, ...) è rappresentato proprio da questi mirabili esempi di architettura moderna, per la maggior parte di stampo “razionalista”, l’esperienza applicativa sull’opera di Michelucci potrebbe delineare un’interessante scenario di ricerca nel quale poter coniugare le ragioni proprie della conoscenza di questo immenso patrimonio culturale, con le esigenze pratiche e gestionali interesse delle pubbliche amministrazioni, o più in generale delle committenze, per la pianificazione delle attività volte alla manutenzione o al restauro di tali manufatti.

Oltre che per le caratteristiche su descritte, la scelta di analizzare l’Istituto di Geologia e Mineralogia come caso studio deriva anche dalla concomitanza con una più estesa campagna d’indagine su alcune fra le più significative

architetture della città universitaria, avviata da un gruppo di docenti, ricercatori e dottorandi del Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Roma, in vista dei prossimi festeggiamenti per gli ottanta anni dalla costruzione in Roma dello *Studium Urbis*; oggetto di interesse della campagna, sono stati più in dettaglio i seguenti edifici, tutti di particolare rilevanza architettonica e di innegabile interesse storico-culturale: la facoltà di Fisica (arch. G. Pagano), la facoltà di Botanica (arch. G. Capponi), parte della facoltà di Matematica (arch. G. Ponti), parte della facoltà di Chimica (arch. P. Aschieri), parte del Rettorato (arch. M. Piacentini), nonché l'Istituto di Geologia e Mineralogia evidenziato nella planimetria (fig. 3.6) generale della città universitaria.

Ciò premesso, l'esperienza di applicazione sperimentale muove dalla primordiale volontà di tradurre in ambiente BIM i dati derivati dal rilevamento integrato del manufatto condotto nel maggio del 2016 (fig. 3.7) con i dottorandi del XXXI ciclo del Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura (*curriculum* Disegno), nell'ambito del seminario di Rilievo del I anno del corso di alta formazione. In estrema sintesi, si è partiti dall'analisi approfondita dei dati raccolti nella campagna di rilevamento integrato su citata, reperendo il materiale acquisito, ed in parte già elaborato durante il seminario, secondo metodologie di acquisizione e restituzione grafica convenzionali. Alla fase di analisi dei dati, è susseguita la fase di impostazione generale del modello BIM, con l'obiettivo principale di creare un *database* implementabile nel tempo per la conoscenza del manufatto; considerate le premesse di natura teorica e metodologica, delle quali si è rimarcata più volte la necessità, la corretta impostazione del modello BIM si è rivelata estremamente importante, nonché propedeutica, per la fase successiva di costruzione effettiva del modello virtuale informativo dell'edificio. In questo processo di conoscenza graduale e di strutturazione delle informazioni a disposizione, attuato in modo che il prosieguo della ricerca potrà avvenire anche ad opera di altri ricercatori, si è cercato costantemente di seguire un *workflow*, ovvero un flusso di lavoro che, forte di ragionate premesse teoriche e metodologiche, potesse considerarsi valido per il rigore scientifico dei risultati preliminari e del processo stesso.

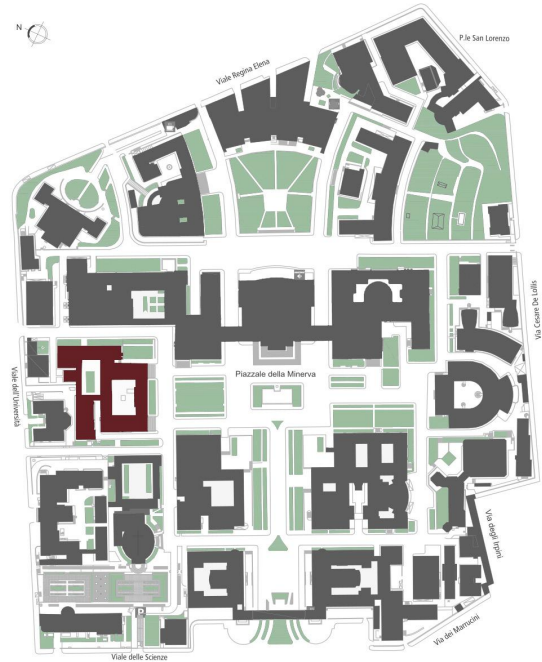


Fig. 3.6 – Planimetria generale della città universitaria ed individuazione in rosso dell'Istituto di Geologia e Mineralogia.

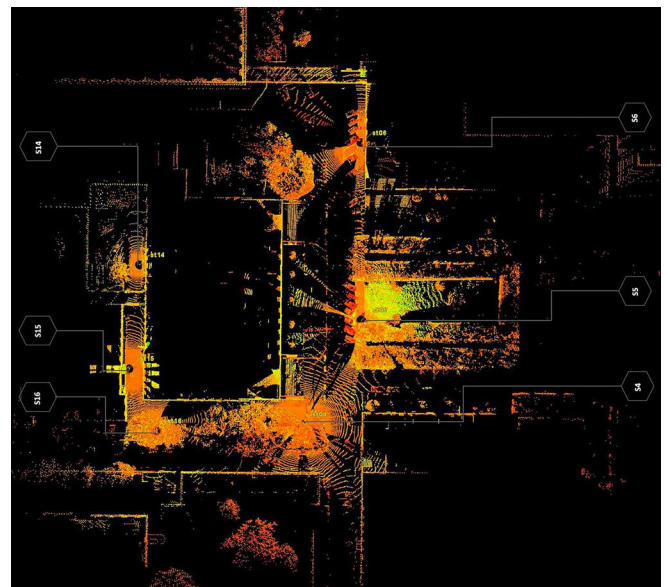


Fig. 3.7 – Immagine ortografica della nuvola di punti relativamente all'Istituto di Geologia e Mineralogia e all'immediato intorno.

3.3 Le fasi di rilevamento integrato dell'Istituto

Nel corso della prima campagna di rilevamento integrato dell'Istituto, svolta nel mese di maggio 2016 con i dottorandi del XXXI ciclo, si è fatto ricorso a tecniche e metodologie di rilevamento e restituzione grafica diverse, al fine di sperimentarne sul campo l'applicazione e di verificarne le effettive possibilità di integrazione. Elaborato di concerto il progetto di rilievo, eseguiti gli schizzi di "avvicinamento" e gli eidotipi per le acquisizioni dirette e indirette, si è proceduto alla battuta della rete topografica (fig. 3.8), al posizionamento dei capisaldi e al rilievo topografico degli esterni dell'Istituto; il risultato dell'operazione è stato un file formato .dxf che contava, per l'esattezza, 271 punti topografici di controllo nello spazio, rivelatisi poi molto utili nella fase di impostazione geometrica del modello e di definizione delle volumetrie principali.

Utilizzando la *scan station* Leica C10 in modalità topografica, sono poi state effettuate undici scansioni² degli esterni dell'Istituto (fig. 3.9), "registrate" successivamente tramite

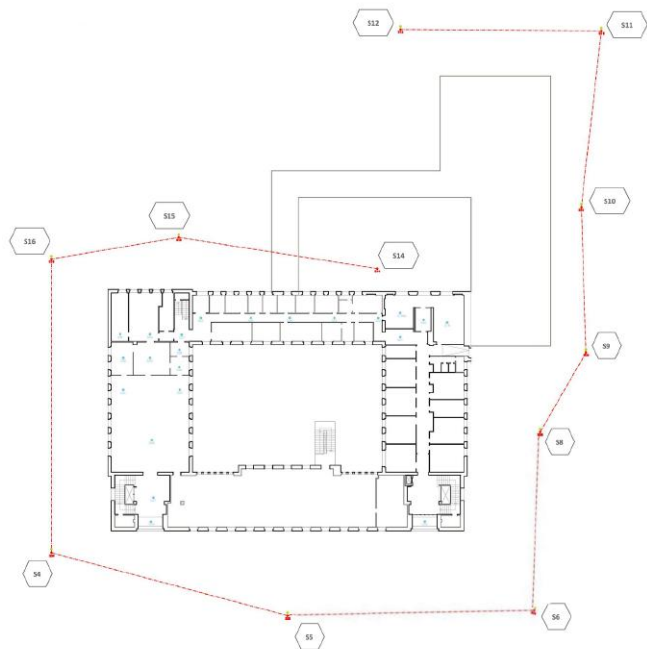


Fig. 3.8 – Pianta del piano terzo dell'Istituto con indicazione schematica della rete topografica in rosso.



Fig. 3.9 – Immagine ortografica della nuvola di punti degli esterni dell'Istituto, slice elaborata con il software Leica Cyclone.

il software specifico Leica Cyclone. In occasione di questa prima campagna di rilevamento, relativamente agli spazi interni, si è scelto di limitare l'indagine al solo piano terzo dell'immobile nel quale, oltre gli uffici e i laboratori, era allocato il Museo di Paleontologia, oggi in fase di spostamento e di ri-allestimento; al piano terzo dell'Istituto si è proceduto con la medesima strumentazione all'esecuzione di ventidue scansioni *laser* in modalità libera, successivamente "registrate" per riconoscimento di punti omologhi e *target* tramite il medesimo software. Nella campagna di rilevamento, particolare cura è stata posta nell'esecuzione e nell'archiviazione delle riprese fotografiche, sia degli spazi interni che esterni; queste ultime, sono poi state utilizzate sia per il raddrizzamento digitale fotogrammetrico dei due prospetti più significativi, che per una prima applicazione di *Image-Based Modeling* del prospetto principale di ingresso Sud-Est. A proposito delle possibilità di integrazione di metodi e tecniche differenti, è da evidenziare che il confronto tra l'immagine della *dense cloud* e l'immagine ortografica da *nuvola di punti* derivata da scansione *laser*, relativamente al medesimo prospetto dell'edificio, ha dato



risultati molto buoni in termini di coincidenza geometrica, nonostante le evidenti differenze di densità dei punti tra i due modelli (fig. 3.10).

A questa prima campagna di raccolta dati, è seguita una prima fase di elaborazione e restituzione grafica dei dati, nell'ambito del suddetto seminario; in particolare, gli allievi hanno presentato al Collegio dei Docenti quattro tavole in formato A1 con gli elaborati grafici, in scala 1:200 e 1:100, dei prospetti esterni e della pianta del solo piano terzo. In un'ottica comune di collaborazione per la campagna

di indagine più estesa poi intrapresa sulla città universitaria di Roma, e con l'obiettivo ambizioso di costituire un *database* comune, i dati raccolti e il materiale elaborato in occasione di questo primo seminario sono stati tutti digitalizzati e messi a disposizione della presente ricerca.

A dimostrazione del fatto che l'utilizzo dei sistemi BIM nei processi di conoscenza del patrimonio architettonico esistente può promuovere meccanismi virtuosi di scambio dati (*data exchange*) e di implementazione nel tempo dei dati di rilievo (*data enrichment*), a distanza di diversi mesi

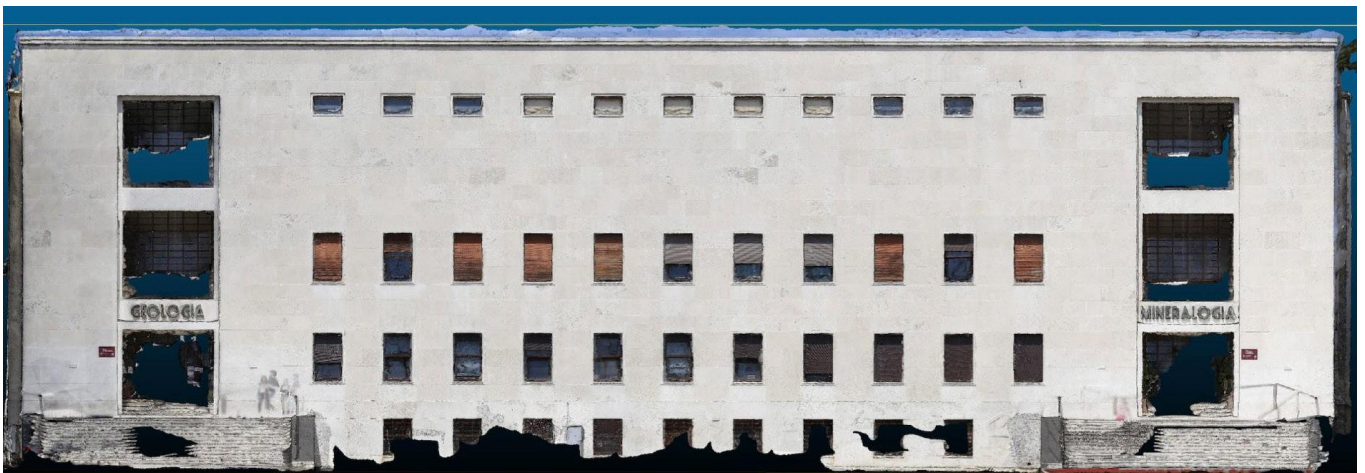


Fig. 3.10 – Immagini ortografiche relative al medesimo prospetto dell'Istituto elaborate da nuvola di punti e da dense cloud per Image-Based Modeling, verifica sull'integrazione delle tecniche di rilevamento.

dalla prima campagna di rilievo integrato sul manufatto oggetto di studio, si è scelto di procedere con una ulteriore serie di sopralluoghi e rilievi diretti e indiretti sull'edificio. In particolare, si è proceduto ad una verifica *in itinere* della rispondenza geometrica di parti del modello BIM agli elementi architettonici reali tramite rilievi diretti che hanno permesso l'affinamento del livello di dettaglio, ad esempio, per la modellazione degli infissi interni, degli infissi esterni, dei rivestimenti lapidei, nonché delle diverse tipologie di materiali di finitura. Inoltre, per intervenute necessità di approfondimento, si è scelto di effettuare ulteriori scansioni *laser*³ degli spazi interni di ingresso al piano rialzato nonché del museo in fase di ri-allestimento nella grande sala al terzo ed ultimo piano del fronte principale dell'istituto.

3.4 L'analisi preliminare e l'elaborazione critica dei dati con approccio BIM-oriented

La fase sperimentale della ricerca è partita dall'analisi attenta dei dati di diversa natura a disposizione, considerandone la provenienza, i relativi processi di acquisizione e rielaborazione preliminare, nonché l'eventuale interpretazione critica già delineata da parte di figure terze. Solo in occasione della seconda campagna di indagini di approfondimento, sebbene quasi al termine del processo di costruzione del modello, si è inoltre potuto avere accesso a degli elaborati grafici CAD in possesso degli uffici della Sapienza⁴; pertanto, seppur in un secondo momento, fra i dati archiviati nel *database* BIM in corso di costruzione, si possono annoverare anche i suddetti elaborati grafici,

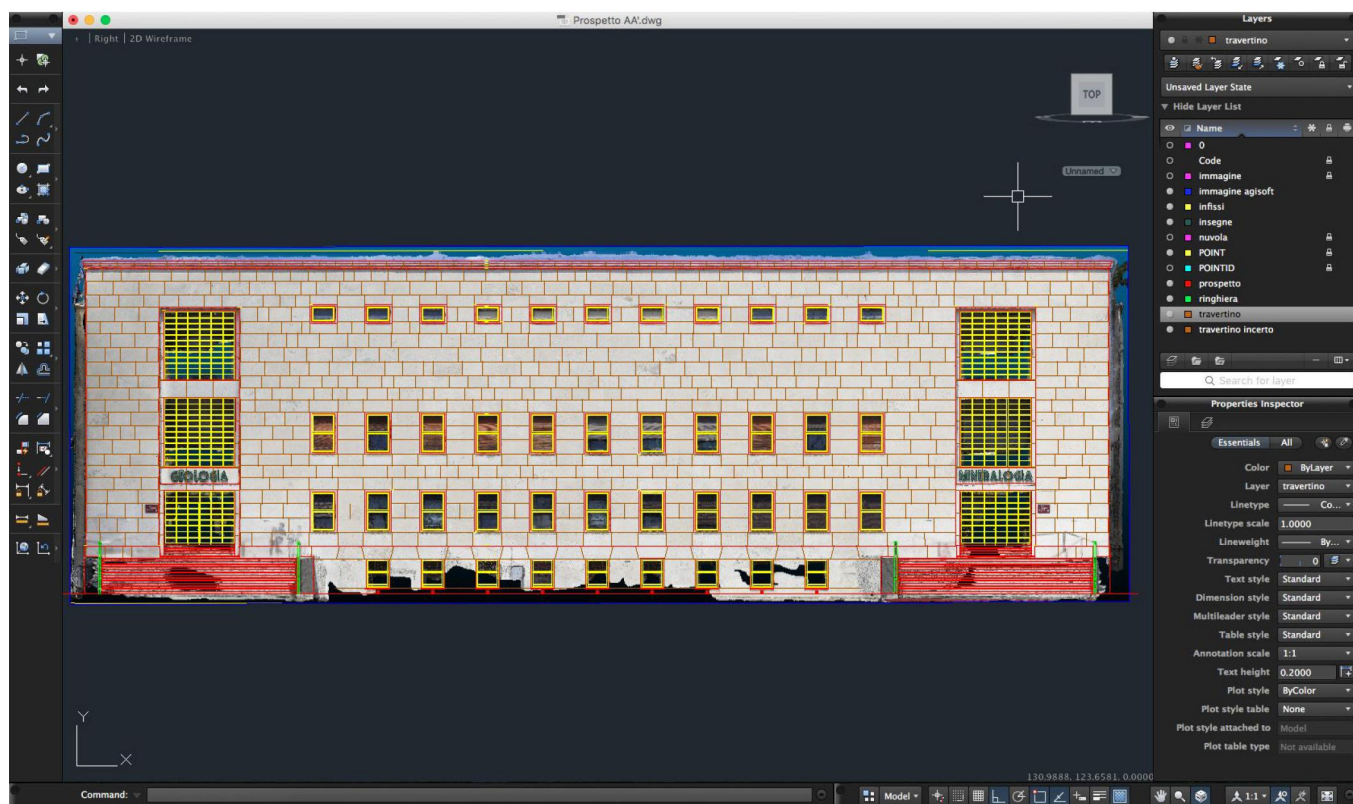


Fig. 3.11 – Elaborazioni preliminare dei prospetti esterni dell'Istituto in ambiente CAD sull'immagine ortografica della dense cloud, screenshot del processo in Autodesk Autocad.

di proprietà dell'ufficio tecnico dell'ente universitario, la qualità e l'affidabilità dei quali è stata oggetto di diverse verifiche.

La prima fase di analisi dei dati è stata eseguita esternamente all'ambiente BIM, ovvero preliminarmente alla fase di importazione dei dati all'interno del software di BIM *authoring* scelto; questa prima fase è comunque risultata estremamente importante per riflettere sulle strategie operative più idonee di importazione: scelta dei formati *file*, verifica delle compatibilità reciproche, uniformazione delle unità di misura dei diversi collegamenti esterni. Già dalle prime verifiche, analizzando la conformazione geometrica degli esterni dell'Istituto a partire dagli elaborati grafici relativi alla prima restituzione dei prospetti in ambiente CAD, è stato possibile evidenziare una buona rispondenza tra i dati eterogenei di partenza, ovvero tra i punti di controllo topografici, le immagini ortografiche della *nuvola di punti*, quelle ricavate dalla *dense cloud* (fig. 3.11), nonché il fotoraddrizzamento digitale fotogrammetrico effettuato a partire dalle riprese fotografiche. Continuando in prima battuta a lavorare sugli elaborati grafici bidimensionali CAD, è stato poi possibile confermare le geometrie esterne del corpo di fabbrica principale dell'Istituto, "bloccando" la posizione nello spazio di alcuni elementi di particolare rilevanza architettonica (fig. 3.12), quali la fascia basamentale in materiale lapideo, le scalinate esterne, i portali di ingresso a tutta altezza del fronte principale a Sud-Est, nonché le aperture finestrate sui prospetti esterni (fig. 3.13). Relativamente agli spazi interni del piano terzo, avendo a disposizione la *nuvola di punti* riguardante gli uffici, i laboratori, gli spazi museali e il corridoio di collegamento fra questi sul fronte posteriore, è stato possibile effettuare in ambiente CAD una prima verifica della rispondenza tra la restituzione delle piante del piano terzo, elaborati nel seminario, e il relativo modello numerico della *nuvola di punti*, scoprendo e correggendo alcune incongruenze di lieve entità.

Dopo queste primissime analisi, effettuate sui dati di partenza ancora secondo metodologie convenzionali, si è scelto di passare *tout court* a lavorare in ambiente BIM, procedendo con l'importazione nel modello informativo del *file* formato *.dxf* della battuta topografica, del *file*

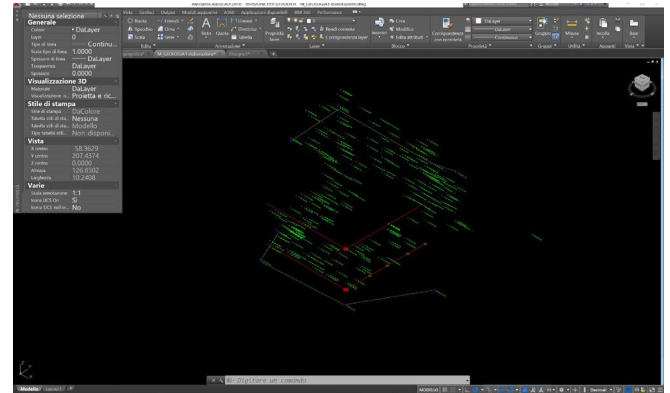


Fig. 3.12 – Analisi in ambiente CAD dei punti di controllo topografici relativi agli elementi architettonici principali dell'Istituto, screenshot del processo in Autodesk Autocad.

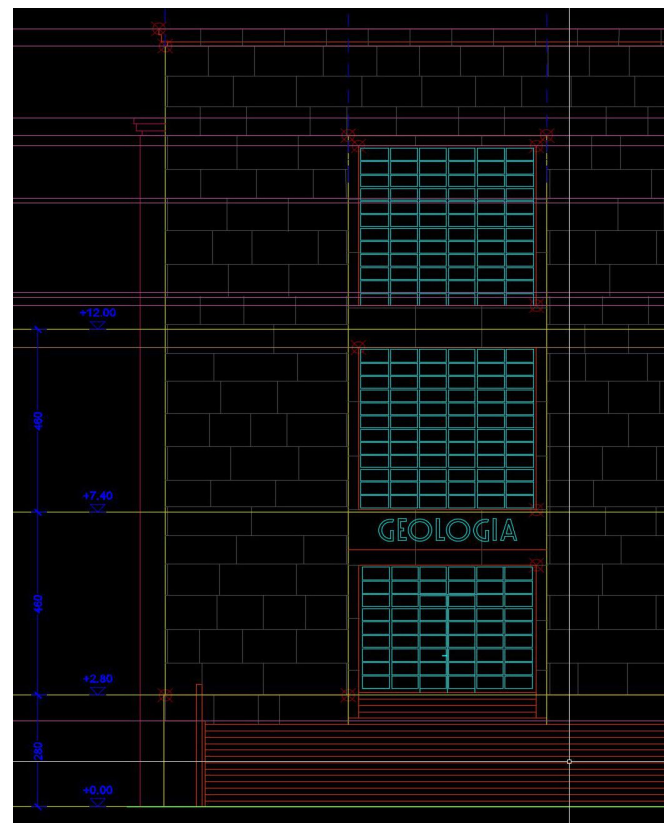


Fig. 3.13 – Elaborazioni preliminare dei prospetti esterni dell'Istituto in ambiente CAD tramite punti di controllo topografici, screenshot del processo in Autodesk Autocad.

formato .rcp⁵ della *nuvola di punti* del piano terzo dell'edificio, dei *file .dwg* relativi agli elaborati grafici suddetti nonché delle prime informazioni che nel corso delle analisi si è ritenuto opportuno cominciare ad archiviare nel *database*. Importare nella piattaforma di BIM *authoring* i punti di controllo topografici ha rappresentato pertanto il primo passo di un lungo e complesso *workflow*, facilitato in parte dalle analisi preliminari che sulla battuta topografica e sui relativi eidotipi erano state già eseguite; infatti, considerata la morfologia del fabbricato, il riconoscimento dei punti principali e la ricostruzione degli allineamenti tramite i punti topografici ha di molto agevolato la successiva fase di individuazione e schematizzazione di livelli, piani e griglie di riferimento in ambiente BIM. La battuta topografica, la cui poligonale è stata evidenziata e il cui punto di origine è stato poi impostato manualmente in po-

sizione conveniente, è stata correttamente riconosciuta e visualizzata dal *software* BIM come un insieme di entità o, meglio, di punti geometrici nello spazio tridimensionale corredati dai relativi riferimenti testuali; è bene precisare che, una volta inserito il *file .dxf* in ambiente BIM come collegamento esterno, i punti di controllo topografici non sono direttamente editabili, ma è possibile aggiornare ed implementare nel tempo il modello di origine esternamente all'applicativo di BIM *authoring*.

Rispetto alle elaborazioni preliminari sulla battuta topografica, quelle sulla *nuvola di punti* hanno richiesto uno sforzo maggiore; con l'ausilio del *software Autodesk Recap*, della medesima casa madre della piattaforma di BIM *authoring* che si è scelto di utilizzare per la costruzione del modello, si è proceduto alla "pulizia e decimazione" della *nuvola di punti*, ovvero all'eliminazione manuale dei punti

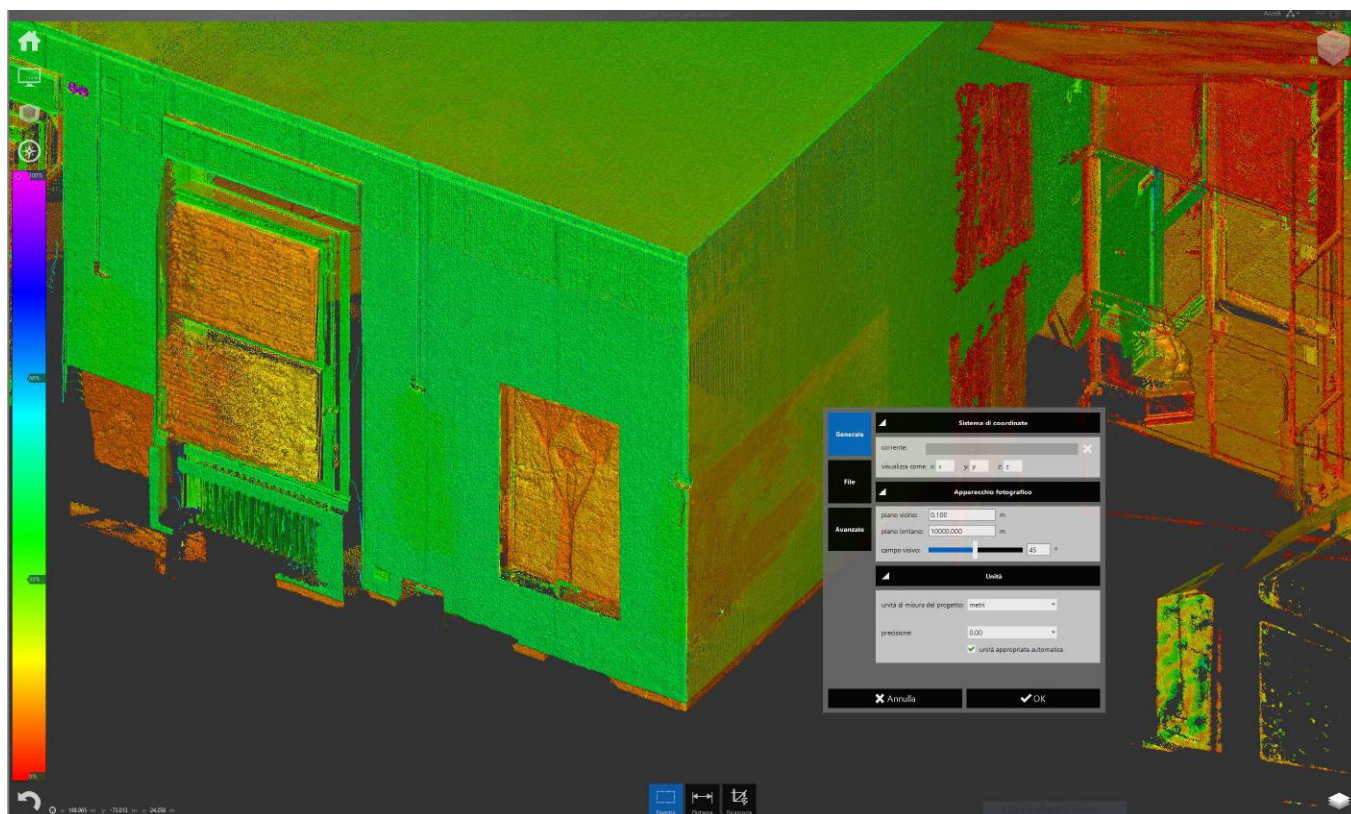


Fig. 3.14 – Elaborazioni preliminari sulla nuvola di punti del piano terzo dell'Istituto, screenshot del processo in Autodesk Recap.

relativi ad elementi del *continuum* reale ritenuti superflui (fig. 3.14) ai fini della conoscenza. Nel corso delle suddette operazioni preliminari, essendo state le scansioni effettuate in modalità libera, oltre che eliminare dalla *nuvola di punti* gli elementi di disturbo, si son dovuti individuare dei punti di controllo convenienti per poter poi procedere correttamente al collegamento della stessa al modello informativo in corso di elaborazione in ambiente BIM. Più in dettaglio, individuati i punti suddetti, si è determinato l'angolo di rotazione (fig. 3.15) e lo spostamento in altezza della *nuvola di punti* rispetto al sistema di coordinate già impostato nell'ambiente BIM (quello che in ambiente CAD è denominato UCS) così da importare il *file* formato .rcp nel modello BIM in posizione corretta rispetto alla battuta topografica già importata.

Sin dalle prime fasi del processo, si è potuto constatare

che, per la gestione del collegamento esterno al modello BIM di una o più *nuvole di punti*, valgono in gran parte le medesime considerazioni precedentemente discusse per la battuta topografica, sebbene si tratti di due sotto-modelli di natura ben diversa. Le *nuvole di punti*, infatti, sono collegate al modello BIM come riferimenti esterni, possono essere posizionate e roto-traslate secondo coordinate predefinite e, inoltre, sono editabili ed implementabili nel tempo intervenendo esternamente alla piattaforma di BIM *authoring*, ovvero utilizzando *software* specifici i cui possibili formati *file* di scambio siano compatibili con l'applicativo utilizzato per l'effettiva costruzione del modello informativo. Nelle innumerevoli viste, in proiezione parallela o prospettica, che si possono generare in ambiente BIM, la *nuvola di punti* può essere visualizzata secondo differenti modalità (RGB, intensità, riflettan-

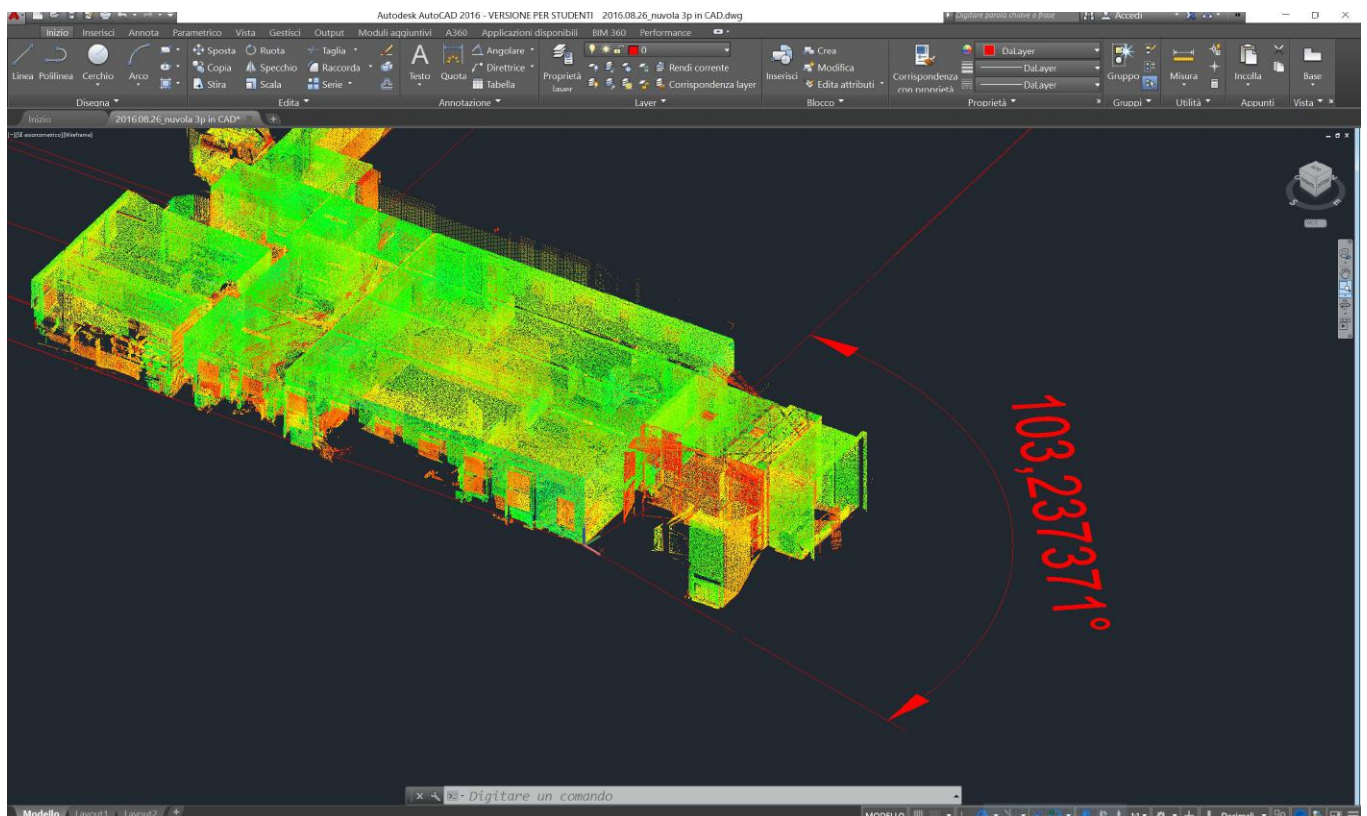


Fig. 3.15 – Elaborazioni preliminari sulla nuvola di punti del piano terzo dell'Istituto, screenshot del processo in Autodesk Autocad.

za, ...) e densità dei punti; ma ciò che è più rilevante è che la *points cloud*, come gli oggetti digitali del modello, può essere sezionata e visualizzata secondo “intervalli di visualizzazione” personalizzati, generando velocemente delle *slices* del modello numerico che possono definirsi dinamiche, ovvero variabili in *real time* a seconda delle necessità. Operando in questo modo, ovvero mappando gli oggetti digitali *in place* (Quattrini et al., 2016, p. 14.4) direttamente nell’ambiente tridimensionale, il modello numerico della *points cloud* viene sfruttato a pieno rispetto alle elaborazioni tradizionali basate su una visualizzazione più statica della stessa, tramite *slices* parziali o, più in generale, visualizzazioni statiche ortografiche. Inoltre, data la possibilità nella medesima vista di scegliere se visualizzare o meno gli oggetti digitali BIM, o le *nuvole di punti* o

qualsivoglia altro collegamento esterno presente, nel corso della modellazione si possono così generare visualizzazioni “ibride”, estremamente utili nel corso dell’elaborazione critica (e contemporanea) dei dati sia per la comprensione del manufatto, che a fini puramente comunicativi.

Queste possono essere considerate le prime e forse più semplici dimostrazioni del fatto che, se ben impostato dalle prime fasi, il modello H-BIM può effettivamente rappresentare il punto di raccolta automatico del lavoro che un *team* di più operatori può svolgere contemporaneamente su diversi modelli, collegati al modello unico come riferimenti esterni (fig. 3.16), attraverso *software* che garantiscano tra loro l’interoperabilità. In un *workflow* ottimale che, tramite l’esperienza applicativa sul caso studio, si è cercato di definire, è evidente che bisognerà sempre

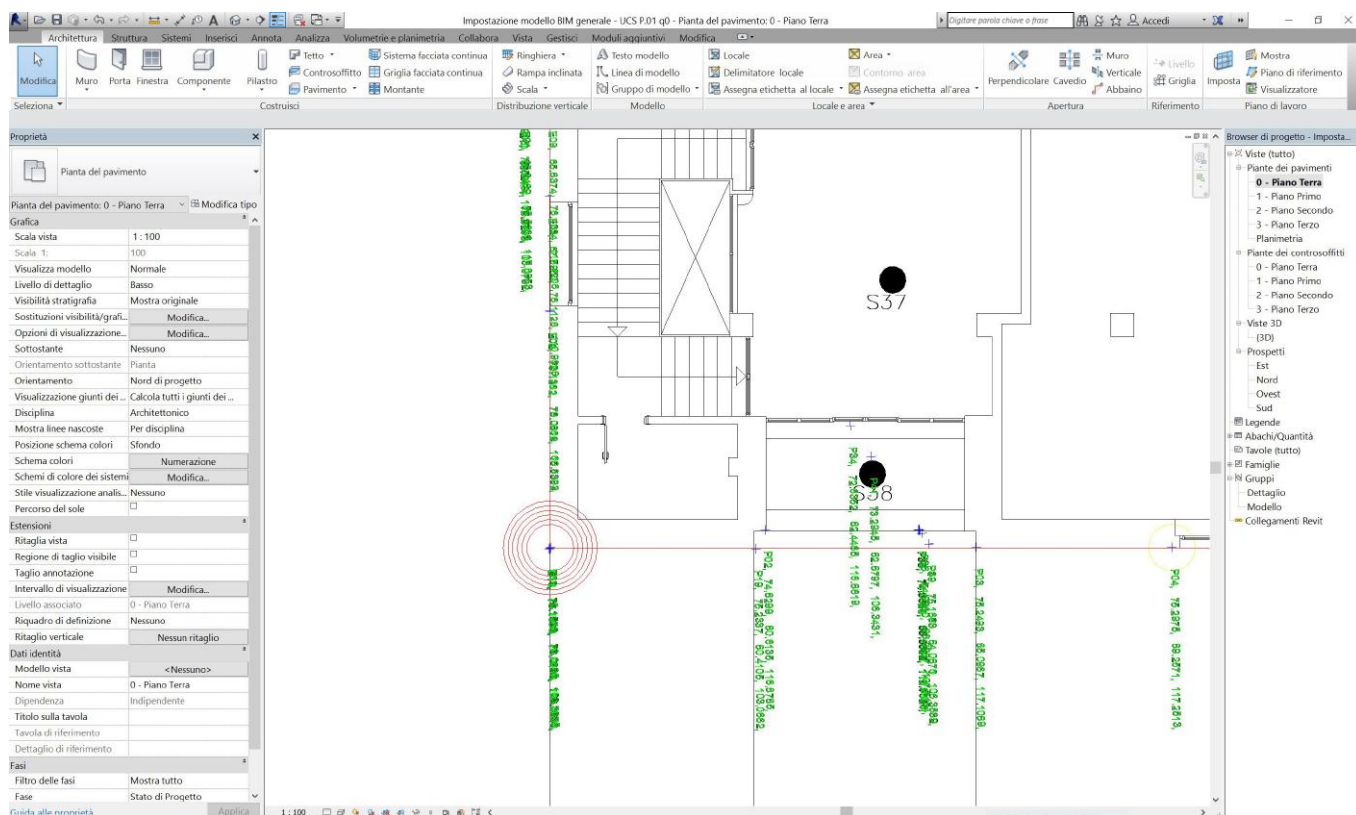


Fig. 3.16 – Visualizzazione in ambiente BIM dei collegamenti esterni, battuta topografica ed elaborati grafici CAD (reperiti presso l’ufficio tecnico dell’ente universitario) - screenshot del processo in Autodesk Revit.

più prediligere un approccio BIM “globale”, cercando di lavorare in ambiente BIM sin dalle fasi primordiali del progetto di rilievo e dell'archiviazione dei dati acquisiti nel *database*; ragion per cui, nonostante l'elaborazione di alcune basi preparatorie sia stata effettuata secondo metodologie più convenzionali in ambiente CAD, si è poi scelto di effettuare l'elaborazione critica vera e propria dei dati numerici esclusivamente nello spazio virtuale dell'ambiente di BIM *authoring* (fig. 3.17).

Tra le analisi effettuate, esternamente all'applicativo di BIM *authoring* ma in ottica BIM-oriented, sono da considerarsi anche i primi riscontri con il materiale informativo e fotografico d'archivio relativo all'opera di Michelucci nel contesto della città universitaria, visionato in particolare attraverso l'archivio digitale dell'Istituto Luce. Dalla

visione dei cinegiornali dell'epoca sulle visite nei cantieri e sulle inaugurazioni delle opere pubbliche promosse dal regime a Roma (tra cui ovviamente il cosiddetto *Stadium Urbis*), dall'estrapolazione di alcuni fotogrammi significativi in cui si intravede proprio l'Istituto di Geologia e Mineralogia, così come dal confronto tra le fotografie d'archivio reperite, è stato possibile effettuare alcune considerazioni, seppur sommarie, sulle tecniche costruttive impiegate per il manufatto di interesse. Ad esempio, osservando la foto codice A00058872 dell'archivio digitale dell'Istituto Luce (fig. 3.18), si può scorgere attraverso il ponteggio la facciata principale dell'Istituto in corso di costruzione; aguzzando la vista, è possibile analizzare alcuni dettagli relativi alle tecniche costruttive adottate, molto utili proprio per una modellazione più consapevole

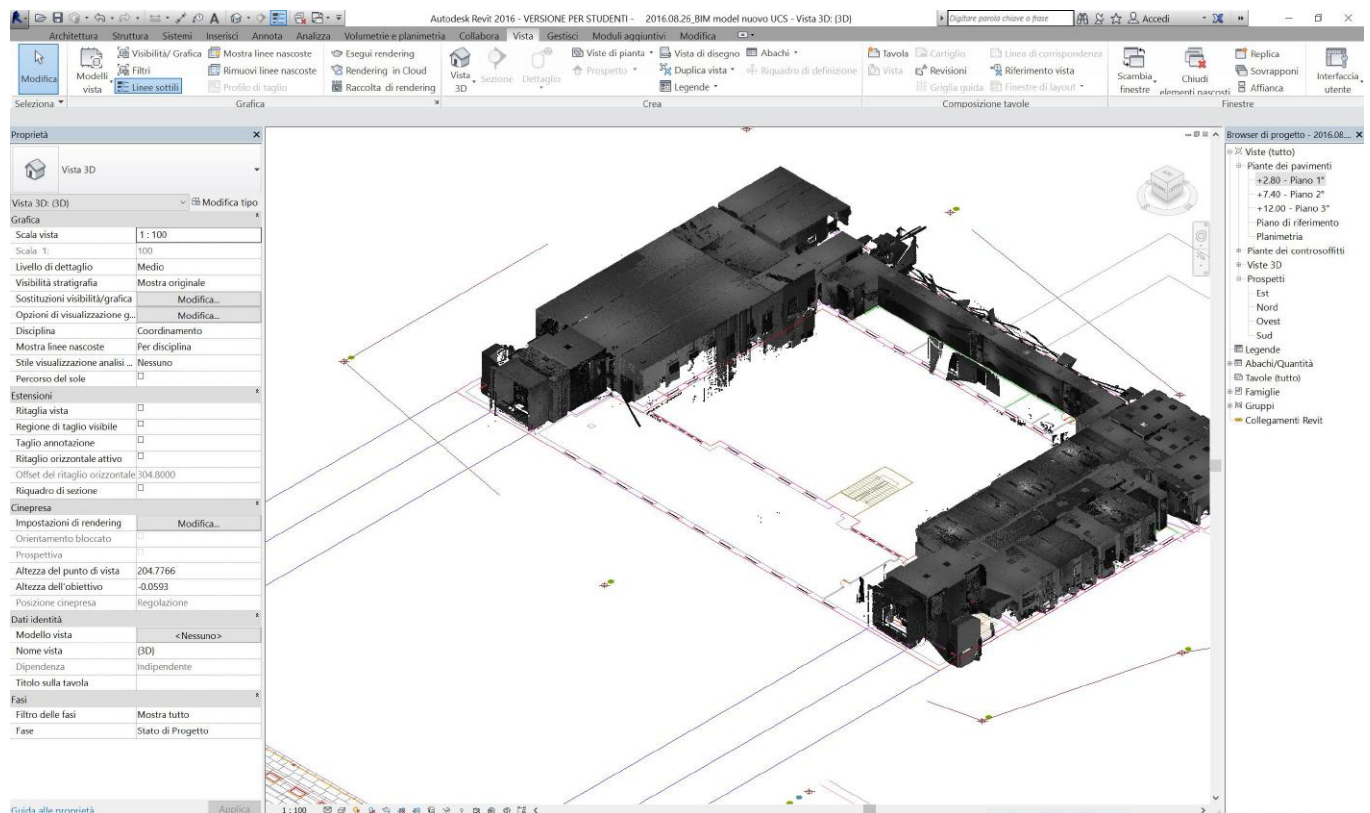


Fig. 3.17 – Visualizzazione in ambiente BIM dei collegamenti esterni, nuvola di punti del piano terzo ed elaborati grafici CAD (rielaborazione della restituzione grafica del seminario di rilievo) - screenshot del processo in Autodesk Revit.

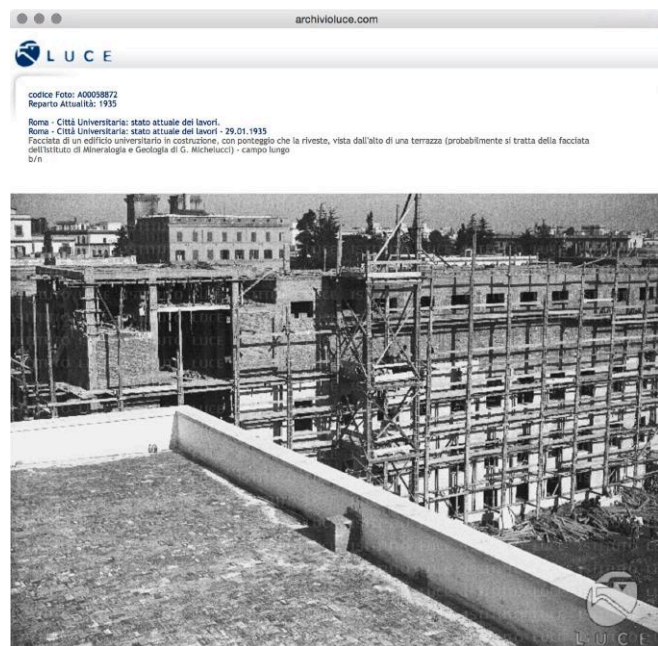


Fig. 3.18 – Veduta del fronte principale dell'Istituto di Mineralogia e Geologia in corso di realizzazione alla data del 29.01.1935 - foto codice A00058872 - dell'archivio digitale dell'Istituto Luce <http://www.archivioluce.com>

di alcuni elementi costituenti il modello. Ad esempio, si notano i pilastri in cemento armato, delimitanti la nicchia di ingresso a tutt'altezza e ancora “nudi”, che spiccano dal piano terzo in poi in corrispondenza del corpo scala principale dell'ingresso di sinistra all'Istituto; si distinguono, inoltre, le travi in cemento armato gettato in opera della copertura dell'angolo dell'edificio, nonché i solai di spessore relativamente esiguo tessuti nella nicchia di ingresso (probabilmente solette piene in cemento armato). La presenza dei pilastri, delle travi e delle solette potrebbe far supporre che la struttura del fabbricato sia del tipo a telaio in cemento armato ma, osservando con maggiore attenzione la foto d'archivio, si nota che tale affermazione non è del tutto corretta. Oltre questa porzione di fabbricato, ovvero tra i corpi di ingresso simmetrici del prospetto inquadrato nella fotografia, si nota che le murature di tamponamento esterno sembrano essere realizzate con mattoni pieni di laterizio e che, nello sviluppo del muro della

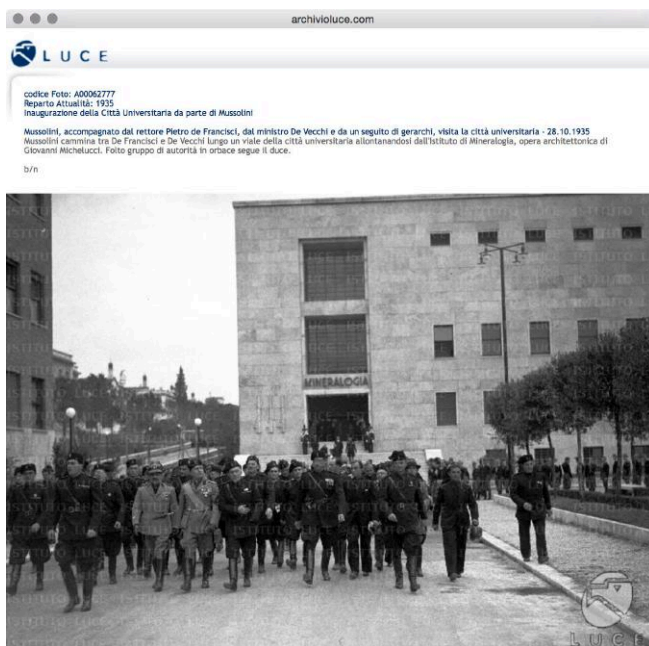


Fig. 3.19 – L'opera di Michelucci completata alle spalle del corteo per l'inaugurazione della Città Universitaria del 28.10.1935 - foto codice A00062777 dell'archivio digitale dell'Istituto Luce <http://www.archivioluce.com>

facciata principale, non sia presente un ulteriore telaio di pilastri e travi; ragion per cui, si è scelto avvalorare la tesi secondo la quale il fabbricato sia stato realizzato con una struttura mista, di murature portanti e telai puntuali di irrigidimento in cemento armato, ad esempio in corrispondenza dei corpi scala. Alle spalle dell'opera provvisoria di cantiere, si distingue chiaramente il rivestimento esterno di facciata, in lastre di materiale lapideo, più precisamente travertino romano, posate in opera indicativamente fino al piano secondo (fig. 3.18) al momento della ripresa fotografica. La suddetta foto d'archivio è del 29 gennaio 1935 e, dal confronto con la foto codice A00062777 del medesimo archivio (fig. 3.19), che documenta la giornata di inaugurazione della Città Universitaria, è interessante notare lo sbalorditivo avanzamento dei lavori nei soli nove mesi che separano una ripresa fotografica dall'altra nella quale, l'opera di Michelucci, si mostra completata alle spalle dei personaggi del corteo inquadrati. Confrontando

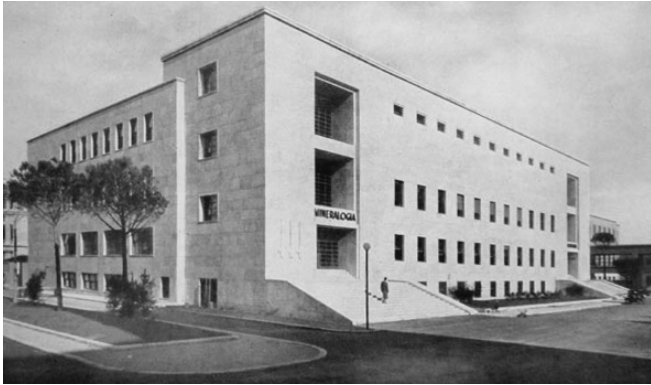


Fig. 3.20 – Esterni dell'Istituto di Michelucci in una foto del 1933.

tali documenti (fig. 3.20) con le riprese fotografiche dal dopoguerra in poi e dello stato attuale dell'Istituto, un'ultima considerazione può essere fatta sulla conformazione dei prospetti che è rimasta quasi intatta nel corso degli anni; infatti, è possibile notare che sono stati rimossi solo i tre grandi fasci littori presenti, a mo' di altorilievi, sulla facciata principale e che sono state invertite le due scritte, "Geologia" e "Mineralogia", poste sui portali in travertino della medesima facciata di ingresso a Sud-Est (fig. 3.21).



Fig. 3.21 – L'Istituto di Michelucci negli anni Settanta: le scritte in ottone risultano invertite e i fasci littori rimossi - foto codice N019153 dell'archivio digitale dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione - <http://www.fotografia.iccd.beniculturali.it>

3.5 L'impostazione del modello informativo, premesse metodologiche e strategie operative

Premesso che la costruzione del modello BIM di un manufatto architettonico esistente non dovrà rappresentare semplicemente una delle diverse forme di restituzione grafica dei dati di rilievo, è fondamentale che un modello informativo venga impostato sin da subito come un "archivio digitale operativo", in grado di documentare il processo di rilievo nel suo complesso, dalla fase di acquisizione dei dati a quella di rielaborazione critica degli stessi e di restituzione grafica. Pertanto, nonostante determinate analisi siano state inizialmente effettuate fuori dall'ambiente di

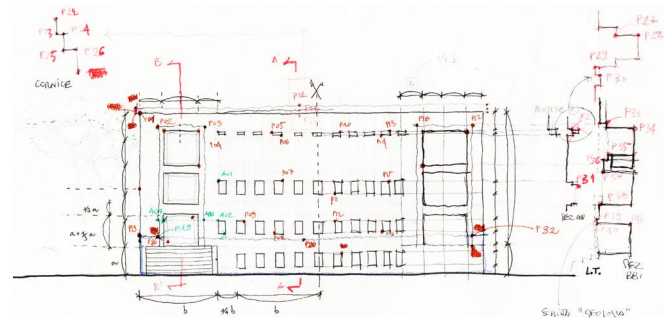


Fig. 3.22 – Eidotipo digitalizzato di un prospetto dell'Istituto.

BIM *authoring*, si è ritenuto fondamentale archiviare nel modello, non solo i dati risultanti dalle campagne di rilevamento, ma anche ulteriori informazioni relative alle stesse, quali ad esempio gli eidotipi digitalizzati (fig. 3.22), la rete topografica tracciata e i capisaldi, i punti di scansione *laser*, le informazioni relative alle specifiche impostazioni degli strumenti, nonché i *link* al materiale reperito in questo caso da un archivio digitale sul web. Queste informazioni, contenute nel database BIM, potranno o meno essere rappresentate negli elaborati grafici di *output* ma, certamente, saranno archiviate nello stesso a testimonianza e garanzia del processo di rilievo; grazie anche all'apporto di altri operatori, che potranno avere accesso alle suddette informazioni (gerarchizzate e organizzate) nel database, il processo di rilievo potrà così essere implementato nel tempo per migliorare il livello di conoscenza globale del manufatto. In questo senso, nella costruzione di un model-

lo informativo architettonico, è d'obbligo considerare che lo stesso dovrà, nella maggior parte dei casi, rappresentare la base comune su cui altri professionisti potranno intervenire in base ai loro specifici ambiti disciplinari o di intervento; quelli che nella presente applicazione sperimentale sono stati per certi versi solo immaginati, sono pertanto dei processi di *data exchange* e di *data enrichment* dove il ruolo del modello informativo architettonico è di fondamentale importanza per dare avvio, e fare da riferimento geometrico, alle modellazioni specialistiche svolte dalle altre figure, anche attraverso differenti applicativi di BIM *authoring* tra loro interoperabili. In riferimento al tema dell'interoperabilità, tale processo di *Bulding Information Exchange* è già stato definito uno dei vantaggi più concreti dell'adozione delle metodologie BIM; e tale processo, per

essere considerato ottimale, dovrà necessariamente essere bidirezionale, ovvero prevedere e favorire questo continuo scambio tra i modelli informativi afferenti alle diverse discipline e il modello condiviso, e viceversa.

Se nelle riflessioni preliminari si son già analizzate, a livello teorico, le potenzialità di questi nuovi strumenti digitali nella gestione dei "rapporti di dipendenza" (Denard, 2016, p. 67) tra parti di conoscenza separate, nella fase di impostazione del modello BIM si è potuto constatare empiricamente quanto l'elaborazione critica dei dati sia favorita da questi confronti sistematici e interattivi che avvengono tutti nel medesimo ambiente di lavoro. Questo processo di elaborazione critica è però possibile solo se, nella fase di impostazione del modello, vengano attuate delle strategie operative rigorose, nell'importazione dei dati da

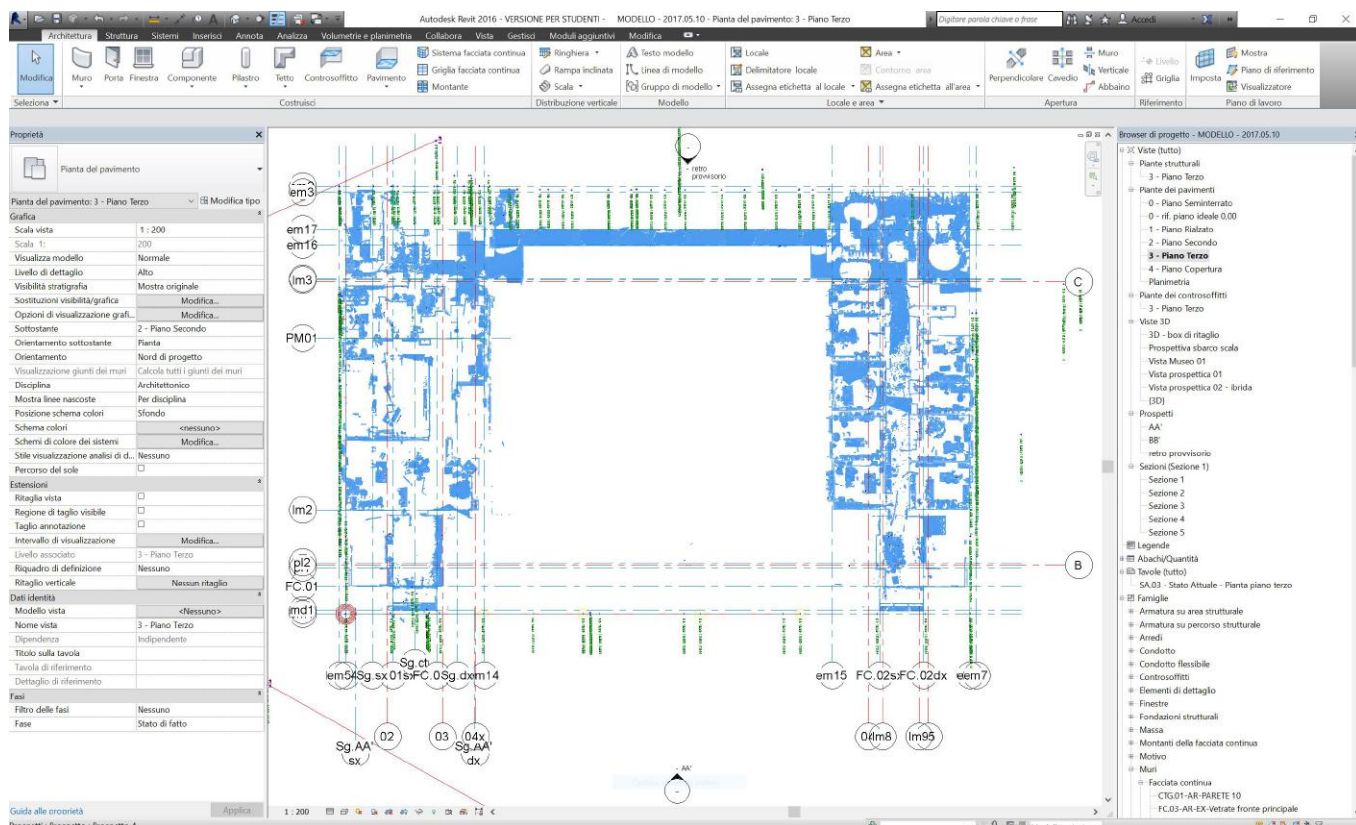


Fig. 3.23 – Visualizzazione contemporanea dei punti di controllo topografici e della nuvola di punti nella piattaforma di BIM *authoring* nel processo di "discretizzazione" della realtà di studio - screenshot del processo in Autodesk Revit.

acquisizioni massive, nella definizione degli elementi di riferimento interni al modello (livelli, piani e griglie), nonché nell'attribuzione di vincoli geometrici e associazioni ontologiche fra i suddetti elementi di riferimento e gli oggetti digitali che si andranno man mano definendo a livello geometrico e semantico.

Lavorando direttamente nello spazio tridimensionale dell'ambiente di BIM *authoring*, abilitando o meno la visualizzazione dei diversi collegamenti esterni (file .dxg della battuta topografica, file .rcp della *nuvola di punti*, file .dwg degli elaborati CAD a disposizione), si son cominciati a tracciare dei livelli, intesi come piani di riferimento, e delle griglie, ovvero assi ed allineamenti interni o esterni (fig. 3.23). Nell'individuazione dei livelli nello spazio tridimensionale, non ci si è limitati a tracciare i soli

piani di calpestio, bensì sono stati individuati degli ulteriori piani di riferimento, il più possibile certi, proprio in base all'analisi contemporanea della battuta topografica e della *nuvola di punti*; oltre i principali livelli di calpestio dei solai (che nel *browser* del modello generano automaticamente le relative piante architettoniche dei piani dell'edificio), sono stati individuati i livelli di riferimento per l'intradosso dei solai, per i piani di imposta delle finestre, per i piani delimitanti i grandi portali vetrati di ingresso, la fascia basamentale di attacco a terra o il cornicione lapideo superiore di attacco al cielo delle volumetrie principali (fig. 3.24). Anche nel tracciamento delle cosiddette griglie di riferimento, non ci si è limitati alla sola individuazione della possibile maglia strutturale dell'edificio, operazione tra l'altro non semplice trattandosi di una struttura mista

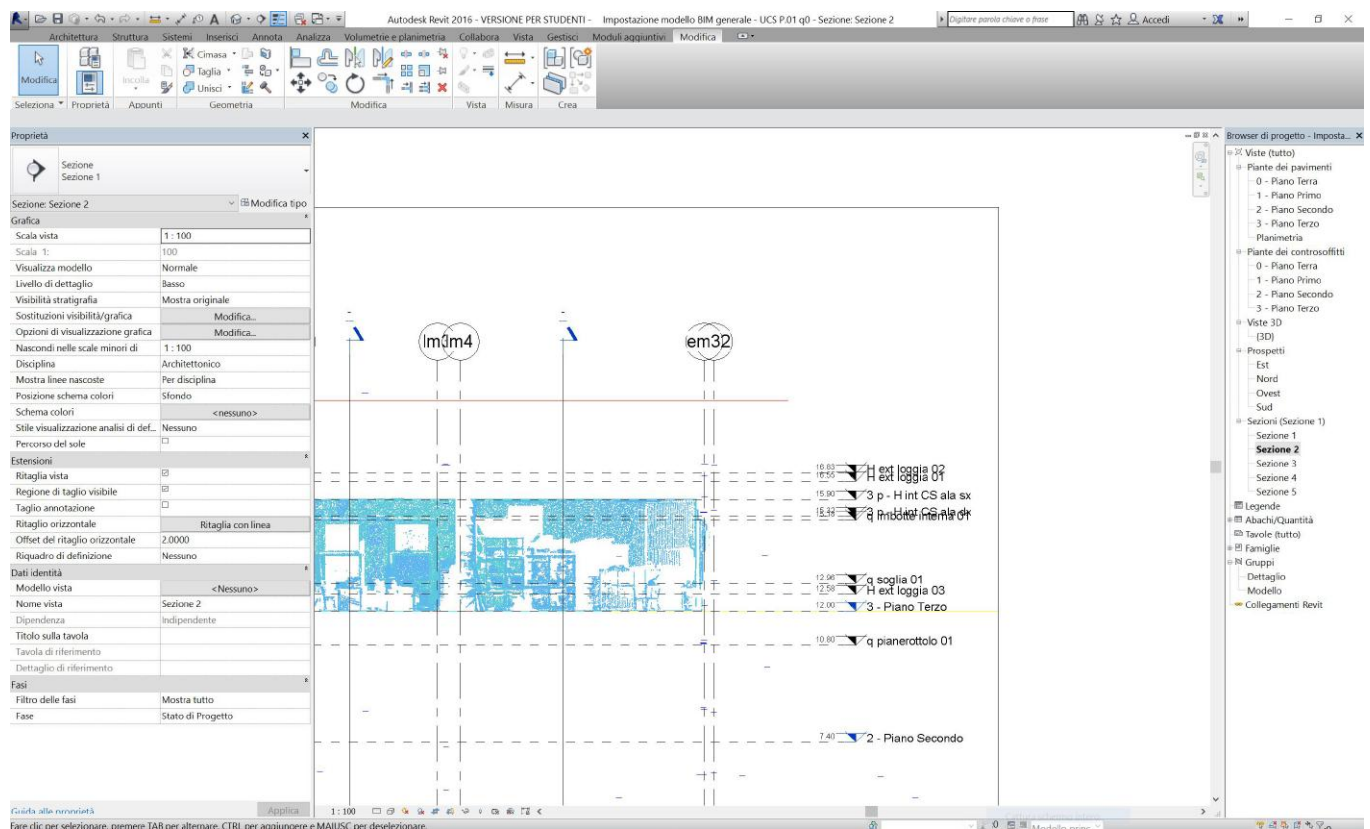


Fig. 3.24 – Visualizzazione in sezione verticale del processo di tracciamento dei livelli di riferimento nella piattaforma di BIM *authoring* a partire dai punti di controllo topografici e dalla *nuvola di punti* - screenshot del processo in Autodesk Revit.

con diversi pilastri inglobati nelle murature perimetrali; lavorando al contempo con sezioni orizzontali e verticali, si è proceduto tracciando tali assi di allineamento non solo per gli elementi strutturali ma anche per gli elementi architettonici quali le pareti di tamponamento esterno, per quelle divisorie interne o per le finestre (fig. 3.25). Più in dettaglio, si è trovato molto utile operare secondo la logica dei cosiddetti “fili fissi”, ovvero individuando per ogni BIM-object gli allineamenti interni, esterni o assiali da potersi considerare invarianti con maggior certezza (ad esempio perchè individuati con una buona affidabilità dal profilo sezionato della *nuvola di punti* o da specifici punti di controllo della battuta topografica).

Non volendo troppo approfondire questioni prettamente operative connesse all'applicativo di BIM *authoring*, è evidente che a questa fase è stata riservata particolare cura in quanto, l'individuazione dei riferimenti del modello, è strettamente connessa alla corretta analisi delle variabili parametriche degli oggetti digitali ed alla corretta definizione dei vincoli geometrici e delle associazioni (i suddetti “rapporti di dipendenza”) fra componenti del modello e riferimenti spaziali dello stesso. Agli elementi di riferimento, livelli e griglie, sono infatti legati in modo parametrico la maggior parte degli oggetti digitali BIM, stabilendo delle regole di comportamento geometrico e, di conseguenza, anche grafico estremamente utili per “sfruttare” gli automatismi dei processi di costruzione del modello. Ad esempio, qualora la posizione nello spazio di uno degli elementi di riferimento, ad esempio del livello di calpestio di un solaio, non possa essere definita con certezza per la mancanza o l'inadeguatezza dei dati a disposizione, si è scelto comunque di tracciarlo nello spazio con una certa approssimazione così che, in seguito ad ulteriori indagini, se ne potrà perfezionare la giacitura; tale modifica, o meglio, tale affinamento determinerà l'aggiornamento dell'intero modello, ovvero di tutti gli elementi connessi in modo diretto o indiretto al suddetto riferimento. Ancora una volta, risulta evidente che la corretta impostazione di tali regole di comportamento e dei conseguenti meccanismi di automazione della modellazione è fondamentale per evitare spiacevoli inconvenienti in fase di affinamento o revisione del modello BIM. Secondo la medesima logica, si è poi

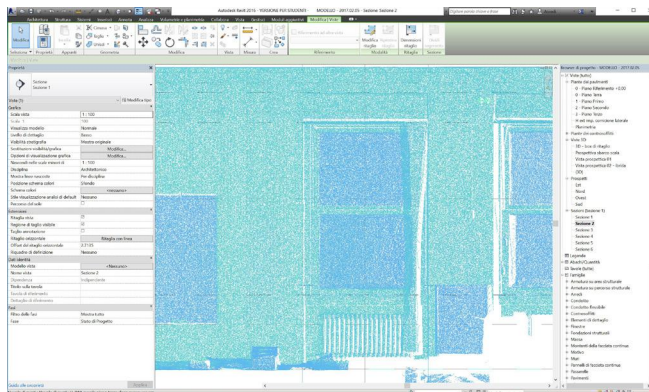


Fig. 3.25 – Visualizzazione in sezione del processo di analisi dei dati relativi all'oggetto digitale “finestra” nella piattaforma di BIM *authoring* - screenshot del processo in Autodesk Revit.

passati alla modellazione effettiva degli oggetti digitali, ovvero degli elementi propri del modello, procedendo per continui affinamenti del livello di dettaglio nell'ambiente di *editor* delle cosiddette “famiglie” (fig. 3.26). Murature perimetrali, pareti divisorie, solai intermedi e di copertura, infissi, sono stati particolareggiati fino al livello di dettaglio possibile in base alle informazioni dirette o indirette a disposizione (a livello stratigrafico, nella definizione dei profili, nell'assegnazione dei materiali di finitura, ...). Considerato che, sia nell'ambito della progettazione *ex novo* che nel processo di analisi critica e traduzione in BIM dei dati di un rilievo, il numero e la complessità degli elementi in gioco è a dir poco notevole, ci si è dovuti necessariamente soffermare su un'operazione *time-consuming* di codifica e nomenclatura degli oggetti digitali. Proprio attraverso l'applicazione sperimentale, si è potuto comprendere quanto importanti siano le operazioni suddette di classificazione e nomenclatura degli elementi del modello (elementi *host* e componenti del modello), degli abachi che conseguentemente vengono a formarsi nel *database* BIM, degli elementi di riferimento (livelli, piani e griglie) e degli elementi specifici delle viste (elementi di annotazione, etichette, riferimenti agli elaborati, ...). In ambiente BIM, per poter gestire tali modelli informativi, è imprescindibile lavorare con ordine affinché questo sistema di complesse relazioni gerarchiche possa essere effettivamente imposta-

to come un *database* relazionale, complesso ma ben organizzato, in grado di favorire efficacemente l'interazione di dati eterogenei e la collaborazione fra operatori diversi nel progetto e nei processi di conoscenza della realtà. Non a caso, in paesi dove il metodo BIM è ormai pratica comune nell'ambito dei lavori pubblici, non solo sono state emanate delle linee guida ma sono state anche validate delle banche dati di prodotto⁶ con specifici criteri di nomenclatura e classificazione; in Italia, con il medesimo obiettivo di creare una banca dati nazionale condivisa di componenti edilizi, era nato il progetto INNOVance⁷, già citato in precedenza. Nel caso studio qui presentato, nonostante si sia proceduto con grande cura alla definizione e nomenclatura degli oggetti digitali, bisogna rilevare che non ci si è adeguati ad una delle specifiche linee guida citate, conside-

rando necessario un approfondimento ulteriore in merito alla scomposizione semantica del modello nell'ambito del Patrimonio Culturale. Essendo le piattaforme di BIM *authoring* basate sulla modellazione per "famiglie" di oggetti tipologici, è ovvio che la modellazione di un manufatto esistente, anche di morfologia relativamente semplice come quello in oggetto, ha presupposto un grande lavoro di personalizzazione e creazione *ad hoc* degli oggetti digitali e delle sottocomponenti non presenti di *default* nelle banche dati del *software*. Per una più adeguata strutturazione semantica dei BIM-object, si è fatto riferimento alle strategie metodologiche attuate nella definizione del *Conservation Process Model* (Acierno et al., 2017), ovvero del modello ontologico proposto dal gruppo di ricerca coordinato dalla professoressa Donatella Fiorani.

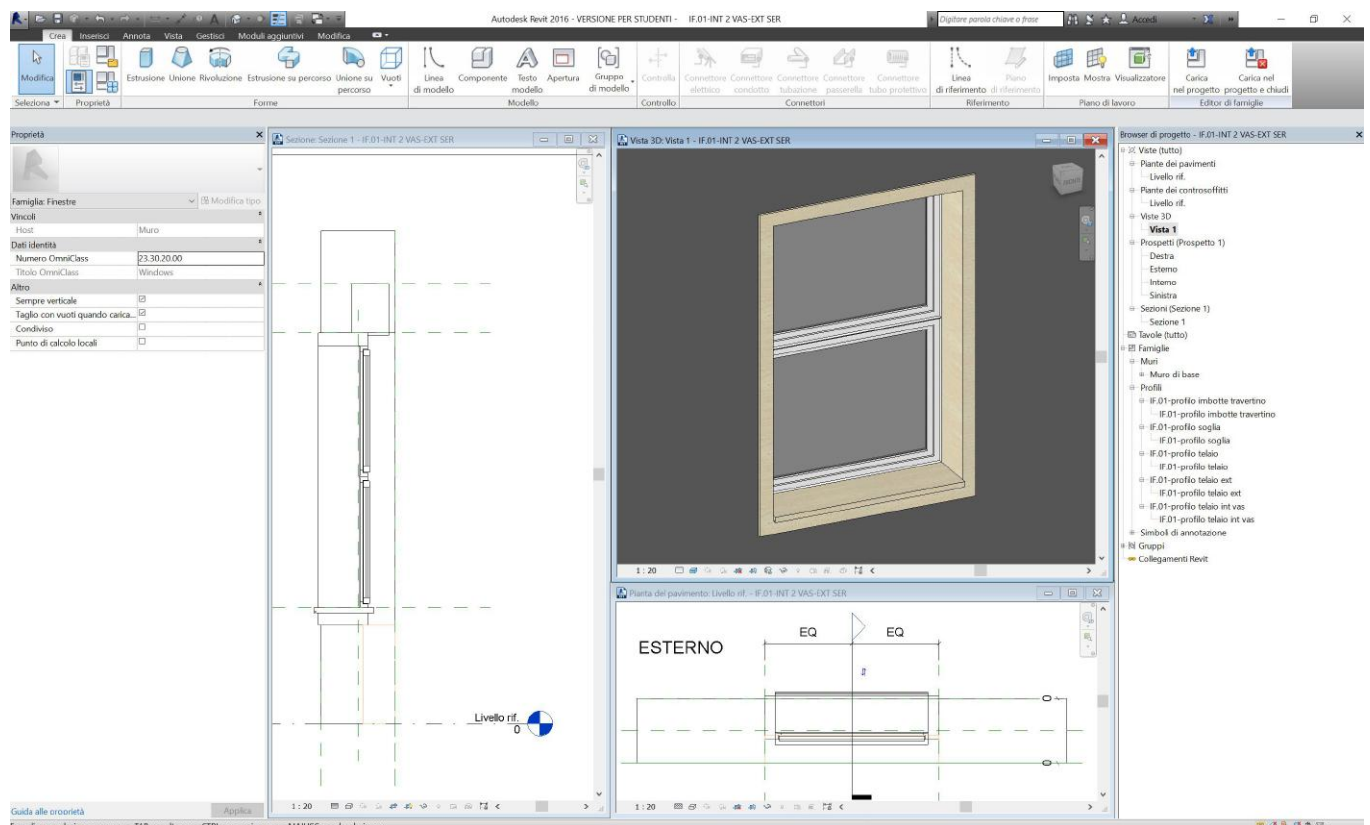


Fig. 3.26 – Visualizzazione in sezione e assonometria del processo di definizione dell'oggetto digitale nell'editor delle "famiglie" della piattaforma di BIM authoring - screenshot del processo in Autodesk Revit.

3.6 La modellazione ottimizzata dei BIM-object, dal continuum del reale al modello informativo

Sulle complesse implicazioni teoriche legate al “salto” che dall’acquisizione massiva dei dati, per cui da *modelli numerici* della realtà oggetto di studio, arriva alla definizione di un modello geometrico *semantic-aware* in ambiente BIM, si è molto riflettuto nelle fasi preliminari della ricerca. Nei processi di *Historical-BIM*, infatti, affinché l’avanzamento della conoscenza sul Patrimonio Culturale possa dirsi rigoroso dal punto di vista scientifico, si è presto evidenziata la necessità di anteporre chiare premesse teoriche e metodologiche alle strategie prettamente operative di modellazione, geometrica e informativa, degli oggetti digitali a partire da dati di rilevamento, spesso relativi

alla sola “superficie della materia”. Nelle applicazioni del BIM al patrimonio esistente, pertanto, la generazione *ad hoc* delle “famiglie” diventa un’operazione inevitabile, esclusiva e complessa, che necessita di un grado di specializzazione dell’operatore elevato, e che determina al contempo non poche implicazioni di carattere teorico e metodologico. La volontà di restituire l’unicità degli elementi, nonchè di tradurre le irregolarità geometriche tipiche del patrimonio storicizzato, si scontrano con il fatto che, in ambiente BIM, la modellazione tridimensionale degli oggetti digitali determina dei vantaggi procedurali effettivi soprattutto quando è basata su logiche parametriche. Un elemento del modello, infatti, può definirsi “intelligente” solo se modellato secondo principi che ne governino il comportamento, in relazione ad esempio a piani, griglie o

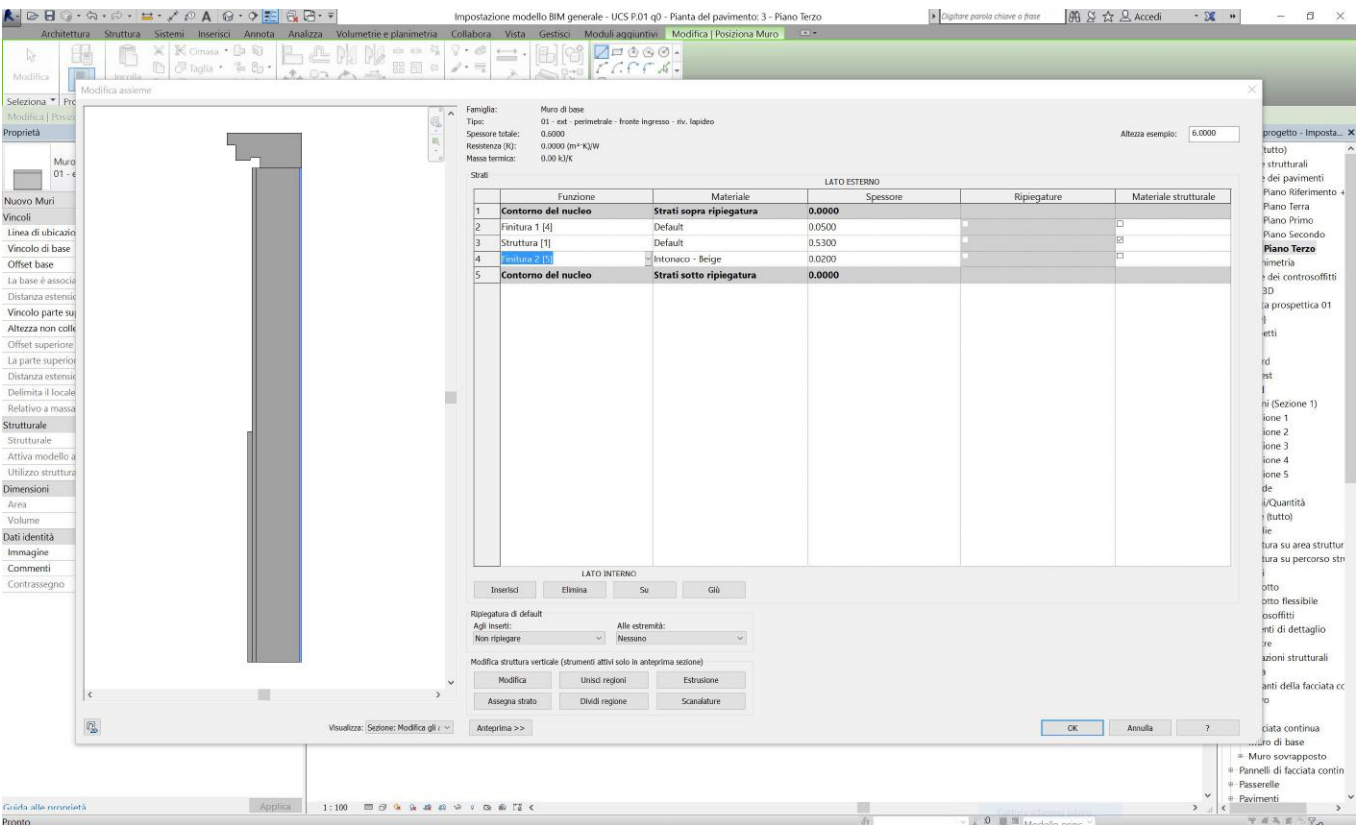


Fig. 3.27 – Visualizzazione del pannello di gestione specifico della piattaforma di BIM authoring per la definizione parametrica di un oggetto digitale analizzato in sezione tipologica - screenshot del processo in Autodesk Revit.

assi di riferimento, e ne consentano modifiche simultanee al variare di determinati parametri che, nel caso di manufatti esistenti, possono essere “discretizzati” a partire dai dati di rilevamento.

Nel processo di traduzione per BIM-object dell'opera di Michelucci, solo in pochi casi è stato possibile attingere alle librerie di oggetti parametrici precostituiti, a meno che non si fosse accettato un livello di semplificazione della realtà non affatto in linea con gli obiettivi della ricerca. Nella costruzione del modello, si è inoltre cercato di non ricorrere, se non in casi inevitabili, alla modellazione di componenti solide che, in ambiente BIM, perdono le suddette potenzialità connesse all'attribuzione di variabili parametriche e di informazioni peculiari; considerate le caratteristiche tipologiche del fabbricato, essendo lo stesso rispondente ad una tecnologia costruttiva moderna, bisogna ammettere che si è stati in un certo senso facilitati nella scomposizione dell'organismo architettonico secondo elementi costruttivi semplici, le cui “primitive” erano già in parte presenti nella piattaforma di BIM authoring utilizzata. Inutile ribadire che, nel caso di manufatti caratterizzati da conformazioni più complesse, o interessati da fenomeni di degrado superficiale e strutturale avanzati, tanto la modellazione geometrica quanto la strutturazione semantica dei BIM-object diventano ben più complesse dal punto di vista operativo e ontologico.

Per comprendere le strategie operative adottate, è utile riportare alcuni casi esemplificativi, tra i quali, la modellazione parametrica del muro perimetrale del fronte di ingresso principale (fig. 3.27). Dall'analisi incrociata dei dati di rilievo, comprese le osservazioni compiute sulla base delle foto di archivio, si sono potuti definire alcuni parametri e attributi di partenza dell'oggetto digitale d'esempio quali lo spessore della parete, la tipologia dello strato di supporto in mattoni pieni di laterizio, la tipologia del rivestimento lapideo esterno in lastre di travertino romano, e la tipologia del rivestimento interno ad intonaco; si è potuta pertanto parametrizzare la stratigrafia muraria tipica, e procedere all'assegnazione dei primi due vincoli di comportamento geometrico, stabilendo il livello inferiore di attacco (tralasciando al momento eventuali ipotesi per lo “spiccato” in fondazione) e il livello superiore de-

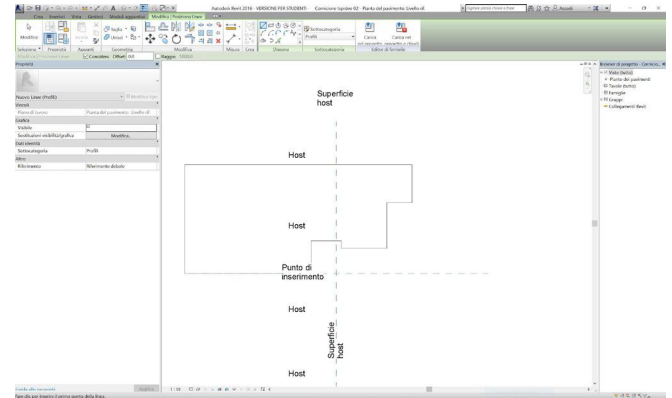


Fig. 3.28 – Visualizzazione nel pannello dell'editor specifico della piattaforma di BIM authoring per il processo di definizione del “profilo” da collegare all'oggetto digitale - screenshot del processo in Autodesk Revit.

lineato dalla nuvola di punti degli esterni e dalla battuta topografica. Considerata infatti la conformazione del cornicione lapideo che corre in sommità del muro lungo tutto il suo sviluppo planimetrico, del quale si è potuto delineare un profilo di sezione semplificato (fig. 3.28), il livello superiore cui si è scelto di vincolare l'altezza del muro altro non è che il livello dal quale si sviluppa tale cornicione lapideo; pertanto, attraverso il pannello di gestione avanzata delle proprietà dell'elemento, oltre la stratigrafia, si è scelto di “legare” alla sommità del muro, considerato nella sua sezione tipo, proprio il profilo di sezione dell'oggetto “cornicione”. Osservando che la parete in oggetto presenta anche un basamento lapideo per tutto il suo sviluppo longitudinale, si è proceduto in maniera analoga per modellare anche tale elemento in modo parametrico; nel modello, il basamento lapideo altro non è che un profilo di sezione, elaborato esternamente alla famiglia “muro”, ed aggiunto nella sezione tipo alla base dello stesso, con riferimento al livello orizzontale che ne determina la sommità. Tali scelte operative si basano su un sistema di appartenenze di famiglie “nidificate” e sul collegamento parametrico del muro a due livelli ben determinati, per il controllo automatico del suo sviluppo in altezza. L'aver così impostato la modellazione dell'oggetto digitale consentirà, in modo istantaneo, eventuali aggiornamenti o l'approfondimento del livello di conoscenza dell'oggetto; basti pensare che,

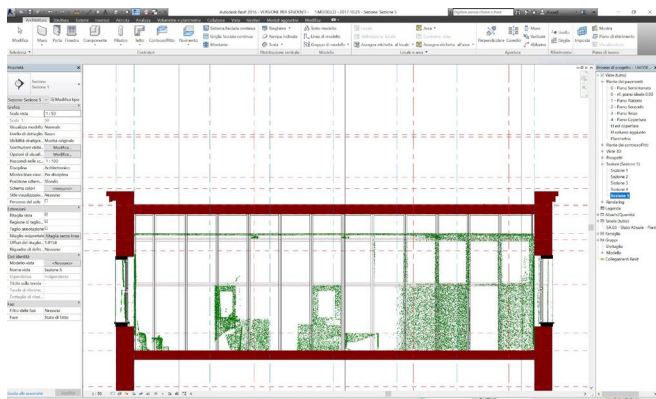


Fig. 3.29 – Visualizzazione in sezione del processo di analisi dei dati relativi all’oggetto digitale “parete mobile” nella piattaforma di BIM authoring - screenshot del processo in Autodesk Revit.

qualora uno dei livelli di riferimento possa essere riportato con maggiore accuratezza, o qualora si disponga di informazioni più precise circa la stratigrafia della parete, o infine qualora si possano particolareggiare i profili del cornicione o del basamento lapideo, le modifiche all’intero modello potranno essere apportate con poche operazioni e in tempi relativamente ridotti.

Medesime considerazioni circa l’importanza di una modellazione “intelligente”, basata sulla possibilità di affinare gradualmente il livello di dettaglio e di affidabilità delle componenti (profili, stratigrafie, ...) e dei riferimenti degli oggetti digitali, valgono per molti dei casi affrontati nella modellazione dell’opera di Michelucci. Trattandosi di un elemento tecnologico ricorrente nel fabbricato, altro esempio che si può riportare riguarda il processo di modellazione delle pareti divisorie di tipologia “a secco”, ovvero costituite da montanti e traversi in alluminio, con pannelli opachi o vetrati interposti (le cosiddette “pareti mobili”). Le possibilità di visualizzazioni “ibride” e simultanee dei dati relativi all’elemento da tradurre in BIM-object facilitano l’analisi della conformazione geometrica dello stesso, secondo logiche che rimandano a quella che è stata definita un’operazione di “analisi grafica dinamica”. Considerata la conformazione delle suddette pareti divisorie, per sezioni orizzontali e verticali, si è proceduto utilizzando la famiglia di oggetti digitali “facciata continua”; già dal nome,

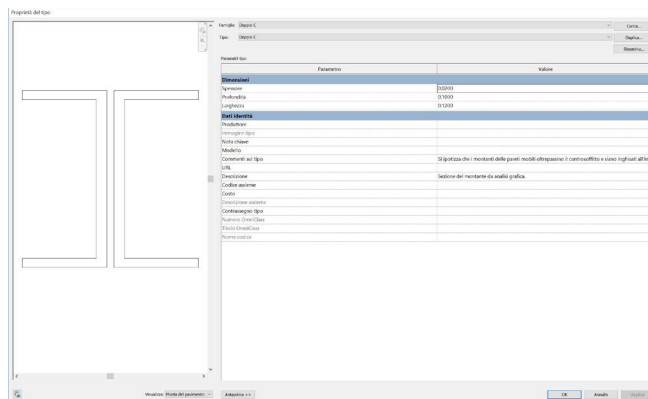


Fig. 3.30 – Visualizzazione nel pannello di controllo specifico della piattaforma di BIM authoring del “profilo” da collegare all’oggetto digitale - screenshot del processo in Autodesk Revit.

si capisce che tale famiglia è stata sviluppata nel software principalmente per la gestione dei tipici sistemi tecnologici di facciata dell’edilizia contemporanea, basati su una griglia di elementi portanti lineari (montanti e traversi) che sostiene dei moduli di partizione opachi o trasparenti. Le funzionalità parametriche che questa famiglia di oggetti digitali consente sono molto avanzate e, ampliandone il campo di applicazione, è possibile risolvere diverse modellazioni complesse personalizzando a proprio favore le suddette funzionalità parametriche. Nel caso delle pareti mobili del piano terzo, ad esempio, è stato relativamente semplice individuare gli assi principali di allineamento in pianta, verificare l’interasse dei montanti verticali, tracciare la posizione dei traversi orizzontali, ed ottenere così una prima griglia per il controllo della modellazione parametrica delle pareti (fig. 3.29); separatamente, sono stati tracciati i profili di sezione tipo dei montanti e dei traversi in alluminio (fig. 3.30) che, essendo stati “caricati” lungo gli assi della griglia suddetta, vengono estrusi automaticamente dalla piattaforma di BIM authoring (fig. 3.31). La griglia di montanti e traversi determina dei campi, ovvero degli elementi modulari, la cui gestione può avvenire ancora secondo logiche parametriche; per i moduli opachi, si è tracciata la sezione tipo dei pannelli di rivestimento in laminato bianco mentre, per quelli vetrati, si è modellato il relativo infisso e, lì dove presenti, i moduli porta.

Se ci si è soffermati sulle potenzialità della famiglia “facciata continua”, dell'applicativo specifico *Autodesk Revit*, è perchè questo genere di funzionalità parametriche sono presenti nella maggior parte delle piattaforme di BIM *authoring*. Una volta compresa la logica che ne è alla base, in questo caso la gestione di un insieme di componenti per campi delimitati dinamicamente da una griglia di elementi lineari, è evidente che attraverso tali funzionalità si può risolvere la modellazione di oggetti digitali anche del patrimonio architettonico esistente che nulla avrebbero a che vedere con le cosiddette “facciate continue” dell'architettura contemporanea; più precisamente, dato che la griglia di assi può anche essere immateriale, ovvero essere intesa come una matrice geometrica o un tracciato regolatore, si possono tradurre con la suddetta famiglia e in modo pa-

rametrico un pavimento o un rivestimento verticale o una qualsivoglia composizione di elementi singoli più o meno ordinata, ... si pensi persino ad un'apparecchiatura muraria costituita da singoli conci di particolare interesse per gli obiettivi dello studio.

Nell'ambito dei processi H-BIM, e connesse proprio alla personalizzazione dei BIM-*object* per obiettivi mirati e “insoliti”, possono essere indicate anche alcune ricerche sperimentali in corso sulle possibilità di descrizione o, meglio, di modellazione in ambiente BIM dei fenomeni di degrado in atto sui manufatti architettonici. Tralasciando momentaneamente le questioni teoriche connesse alla possibilità di utilizzare tali modelli *semantic-aware* per la documentazione normalizzata e i progetti di conservazione (Fiorani et al., 2017) del Patrimonio Culturale, si intende

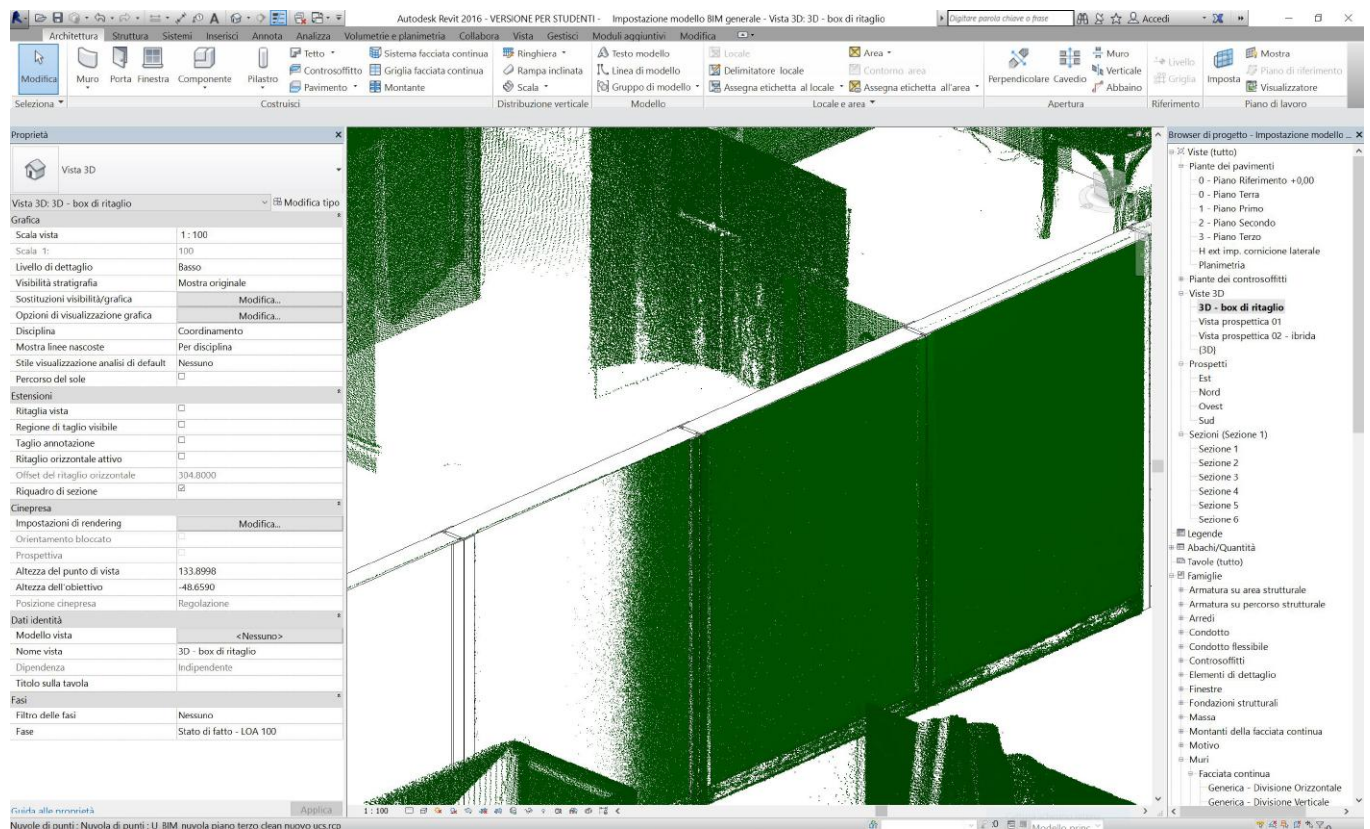


Fig. 3.31 – Visualizzazione contemporanea della nuvola di punti e dei corrispondenti oggetti digitali modellati nella piattaforma di BIM *authoring* - screenshot del processo in Autodesk Revit.

al momento focalizzare l'attenzione sulle modalità prettamente operative che consentono di descrivere in ambiente H-BIM lo stato di conservazione della materia, non solo a livello di attributo testuale, bensì attraverso un'effettiva modellazione dei contenuti semantici frutto delle analisi specificatamente condotte. A livello operativo, è a tal proposito interessante la prospettiva delineata nelle più recenti esperienze di un gruppo di ricerca⁸ che, col proposito di “materializzare” nel modello tali fenomeni degenerativi, sperimenta l'utilizzo di una funzionalità parametrica delle piattaforme di BIM *authoring*, quella cosiddetta delle “componenti generiche adattive”; tra gli obiettivi principali di tali ricerche, infatti, vi è quello di riportare in ambiente H-BIM, ovvero direttamente sulle geometrie tridimensionali del manufatto, l'analisi del degrado superficiale finora

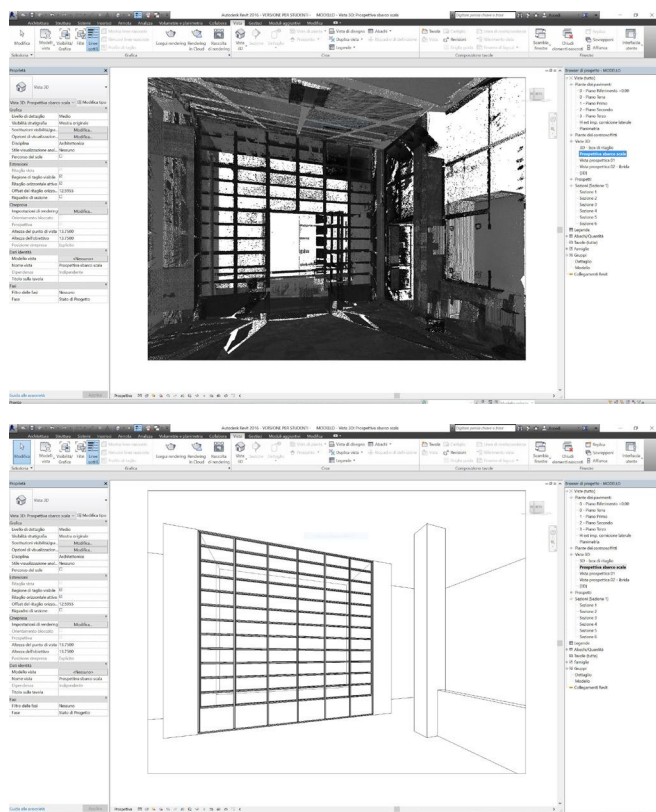


Fig. 3.32 – Visualizzazioni in proiezione prospettica dei dati di rilievo e della modellazione in corso dello spazio di ingresso al museo - screenshot del processo in Autodesk Revit.

tradizionalmente graficizzata sugli elaborati di prospetto attraverso l'uso di campiture normalizzate, o più in generale, di simbologie grafiche. Operando con le componenti geometriche adattive in ambiente BIM, è possibile “applicare” tali entità parametriche agli oggetti digitali nella loro tridimensionalità sebbene, a livello teorico, la logica di tali operazioni è pur sempre basata sulla corrispondenza tra un'entità geometrica astratta (campitura grafica o componente adattiva che sia) e l'identificazione del fenomeno di degrado relativo, nel primo caso con un linguaggio simbolico (condiviso e tramite legende) nel secondo attraverso gli attributi testuali dell'oggetto digitale. Sebbene tale strategia consenta di collegare all'entità parametrica immagini, descrizioni testuali o indicazioni specifiche, nonché di avere contezza degli aspetti computazionali per lo sviluppo delle quantità nei progetti di conservazione, è d'obbligo non sottovalutare le implicazioni di natura teorica che, non a caso, sono già oggetto di diverse ricerche nell'ambito disciplinare del Restauro dell'Architettura.

In conclusione, nell'ambito dei processi H-BIM, si può affermare che le capacità critiche dell'operatore risiedono anche nella definizione degli algoritmi alla base della modellazione parametrica degli oggetti digitali attraverso i quali si cerca di discretizzare la complessità delle variabili del reale (fig. 3.32). Tali capacità di modellazione parametrica, possono essere estremamente utili anche nell'ambito progettuale; in tal senso, basti pensare alla possibilità di gestire in ambiente BIM anche la fase meta-progettuale, attraverso quelle funzionalità che nelle piattaforme di BIM *authoring* sono dette di “gestione delle masse”. Partendo da dati esigenziali (flussi, percorrenze, destinazioni d'uso, connessioni tra le parti), o da invarianti di tipo urbanistico (distacchi, altezze, cubature, superfici), la composizione architettonica potrà essere governata a partire da volumi elementari parametrici, da griglie di riferimento cui legare gli oggetti digitali, o da tracciati regolatori parametrici, in un processo graduale di approfondimento (fig. 3.33).

Tornando al caso studio specifico dell'Istituto di Geologia e Mineralogia, date le caratteristiche intrinseche dell'opera di Michelucci, a livello operativo le difficoltà preannunciate nella traduzione dei dati di rilievo (con particolare riferimento ai dati da acquisizioni massive) sono state in

buona parte superate grazie alla personalizzazione degli strumenti e delle funzionalità dell'applicativo di BIM *authoring*; considerando il rigore geometrico della composizione architettonica del manufatto nonché la discreta disponibilità di dati relativi alla tecnologia costruttiva del manufatto, l'analisi dei dati di acquisizione massiva è stata effettuata in modo abbastanza agevole direttamente in ambiente BIM (fig. 3.34). Inutile negare che, nei processi di *Historical-BIM* che abbiano per oggetto manufatti aventi caratteristiche morfologiche o storiche ben più complesse, permangono comunque molteplici difficoltà da affrontare, legate alla congenita rigidità delle piattaforme di BIM *authoring*, ad oggi concepite principalmente per il mondo delle costruzioni di nuova realizzazione (AEC *Architecture Engineering Construction*).

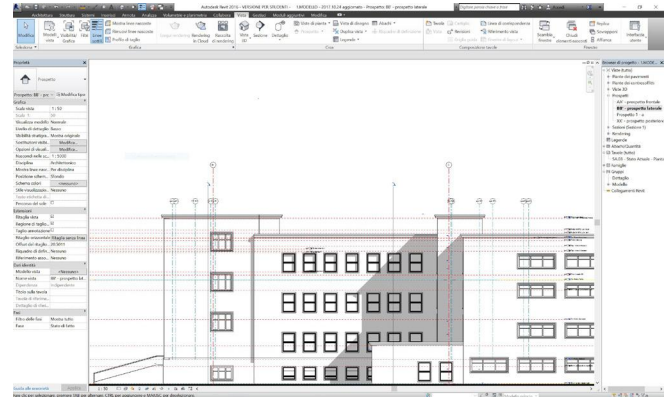


Fig. 3.33 – Visualizzazione di un prospetto nel processo di graduale approfondimento del modello tramite livelli di riferimento - screenshot del processo in Autodesk Revit.

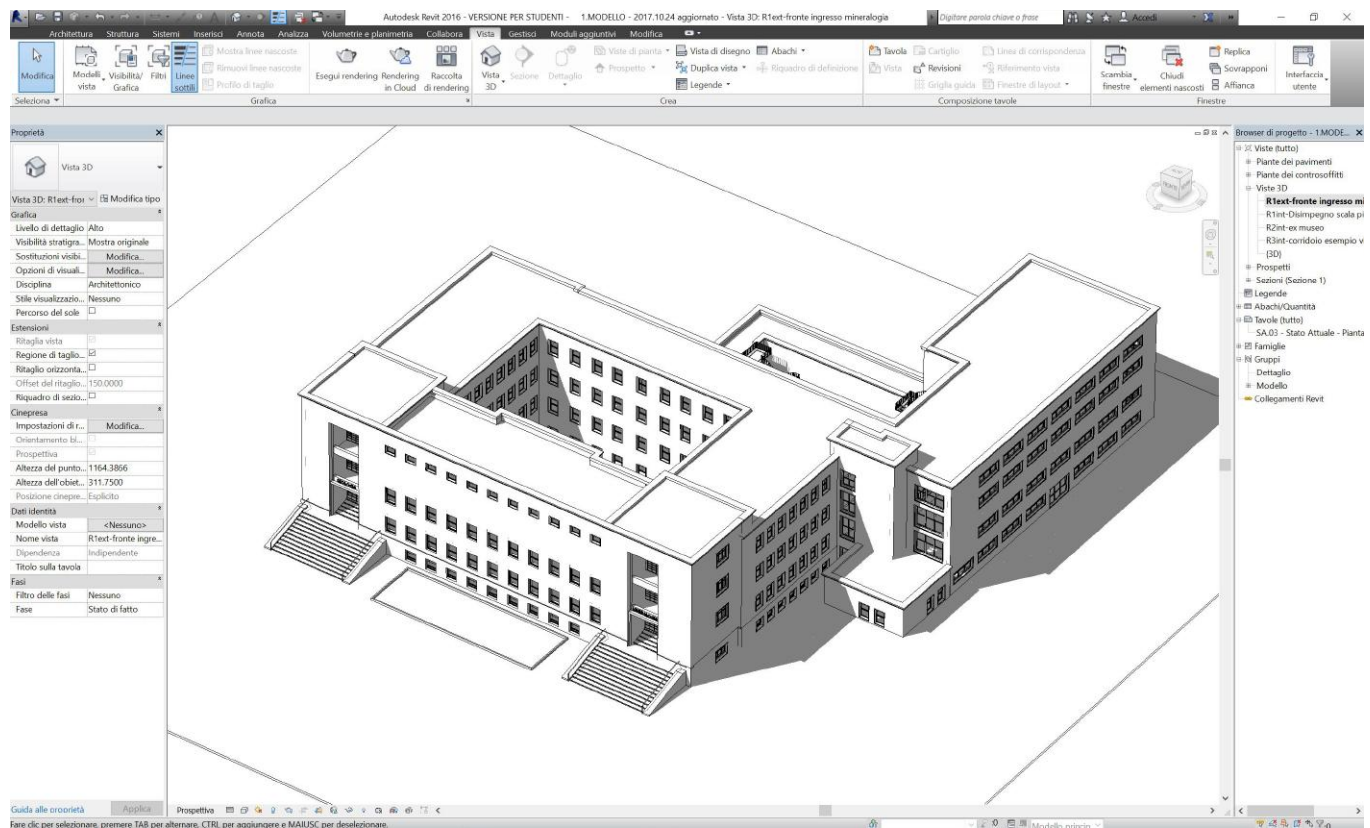


Fig. 3.34 – Visualizzazione assonometrica in modalità “linee nascoste” del modello dell'Istituto di Michelucci in corso di elaborazione nella piattaforma di BIM *authoring* - screenshot del processo in Autodesk Revit.

3.7 La personalizzazione delle funzionalità e degli automatismi degli applicativi in ambito H-BIM

3.7.1 La gestione avanzata dei collegamenti esterni per la comprensione del manufatto

In un processo H-BIM, al fine di far confluire in un unico *database* le informazioni di diversa tipologia a disposizione (fig. 3.35), è estremamente conveniente, e in un certo senso indispensabile, importare e gestire questa mole di dati attraverso sotto-modelli, collegati come riferimenti esterni al modello centrale (si pensi ad esempio al modello geometrico per punti della battuta topografica o al modello numerico della *nuvola di punti*). Premesso che i *file* di riferimento esterno non “appesantiscono” il vero e proprio

*file .rvt*⁹ del modello BIM e che, esternamente al *merged model*, tali *sub-model* possono essere editati e implementati contemporaneamente, sono chiari i vantaggi di questa strategia operativa; il modello BIM di sintesi, costantemente aggiornato, può effettivamente considerarsi un potente *database* per l'archiviazione e la visualizzazione di dati eterogenei, favorendo la “sistematizzazione delle conoscenze” sul patrimonio esistente. Basti pensare che, già in questa prima esperienza sul caso studio, oltre la battuta topografica e la *nuvola di punti*, il modello informativo è stato “arricchito” di ulteriori collegamenti esterni quali gli elaborati CAD della prima restituzione grafica effettuata dagli allievi del dottorato, gli elaborati CAD successivamente ottenuti dall'ufficio tecnico dell'ente universitario, nonché il materiale derivante dalle ricerche di natura ar-

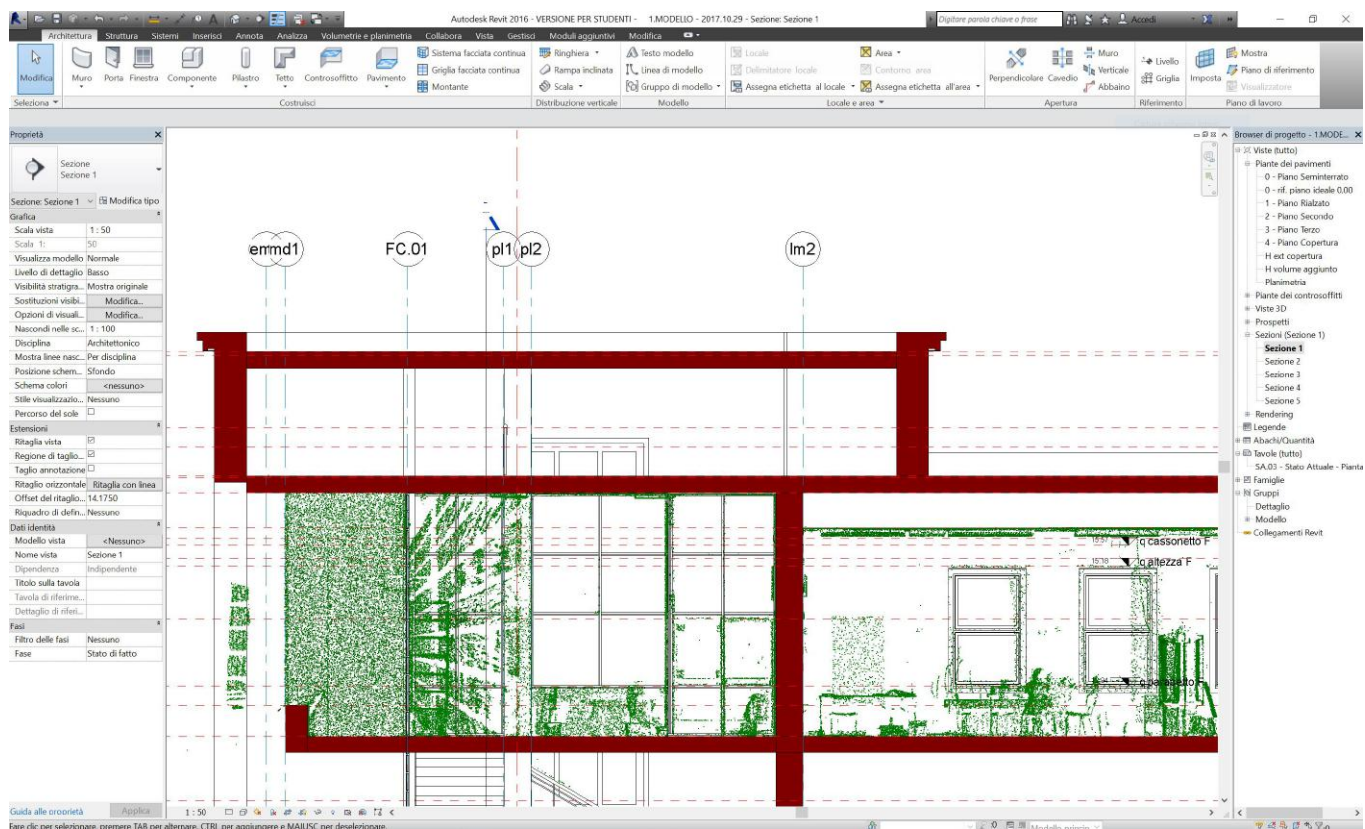


Fig. 3.35 – Visualizzazione in sezione verticale del processo di discretizzazione dei dati di rilievo dello spazio di ingresso al museo nella piattaforma di BIM authoring - screenshot del processo in Autodesk Revit.

chivistica e bibliografica.

Più che sulle modalità di archiviazione dei collegamenti esterni, in merito alle quali è necessario sottolineare l'importanza di utilizzare nomenclature inequivocabili e persorsi di collegamento chiari, ci si può invece soffermare sulle possibilità di visualizzazione contemporanea dei collegamenti esterni in ambiente H-BIM, e sulla loro efficacia nella comprensione del manufatto e nella sua eventuale comunicazione. Agendo infatti sui parametri di personalizzazione delle viste¹⁰ del modello è possibile visualizzare contemporaneamente e non nello spazio di una o più viste dati di natura eterogenea, con conseguenze positive non solo a fini comunicativi ma, soprattutto, durante la traduzione dei dati di rilevamento in oggetti digitali, costituenti poi il modello. Ad esempio, nel caso dell'Istituto di Geo-

logia e Mineralogia, si è potuta sperimentare la possibilità di analizzare contemporaneamente, in modo dettagliato e soprattutto dinamico, la *nuvola di punti* e la battuta topografica in svariate viste parallele o prospettiche (fig. 3.36), potendo così limitare eventuali errori e fraintendimenti spesso legati a visualizzazioni più statiche dei dati di rilevamento, ad esempio, procedendo per *snapshot*, *slices* o immagini ortografiche della *nuvola di punti*.

A testimonianza dei processi su descritti, si è scelto di riportare alcuni *screenshot* dell'ambiente di lavoro della piattaforma di BIM *authoring*; si può così più facilmente comprendere come, ad esempio la restituzione della pianta del piano terzo, sia stata impostata in modo che l'intervallo di visualizzazione della sezione orizzontale corrispondente restituisca proprio una *slice* della *nuvola di punti* alla me-

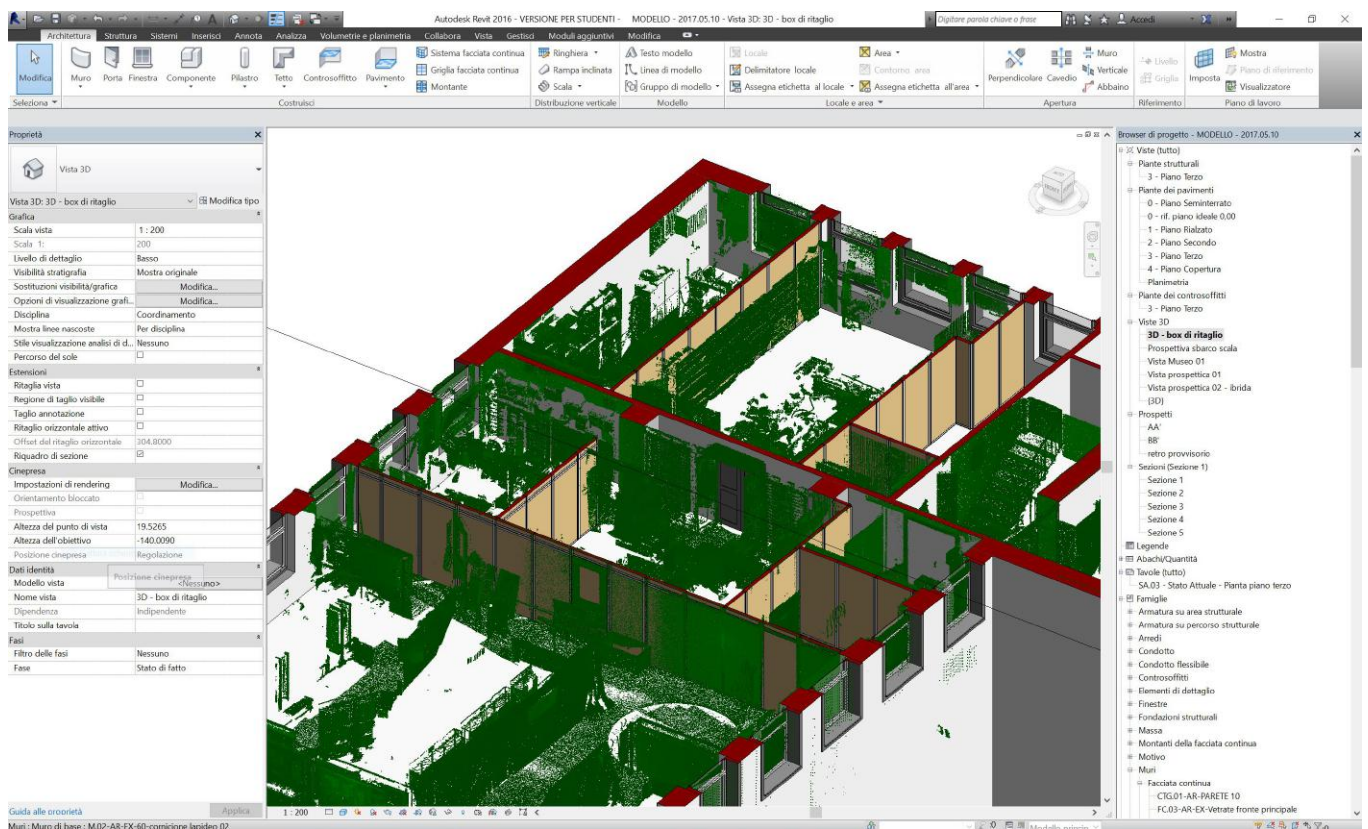


Fig. 3.36 – Visualizzazione contemporanea in un “riquadro di visualizzazione” variabile in assonometria del modello e della nuvola di punti nella piattaforma di BIM *authoring* - screenshot del processo in Autodesk Revit.

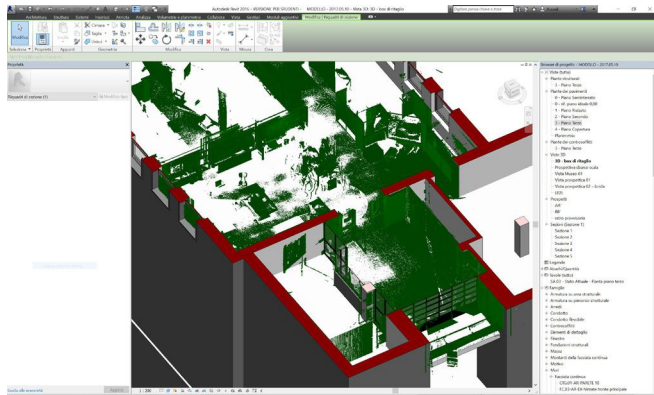


Fig. 3.37 – Visualizzazione in assonometria del processo di costruzione del modello nella piattaforma di BIM authoring - screenshot del processo in Autodesk Revit.

desima quota della pianta (fig. 3.36). Variando tale intervallo di visualizzazione, e lavorando contemporaneamente anche su viste assonometriche (fig. 3.37) o prospettiche (figg. 3.38, 3.39), l'interpretazione della *nuvola di punti* può procedere in modo più sicuro, coadiuvata in questo caso dai punti di controllo della battuta topografica che facilitano la modellazione delle volumetrie esterne.

Procedimenti analoghi sono stati attuati anche nelle viste canoniche di pianta, prospetto e sezione verticali nelle quali, per aiutarsi nella comprensione del manufatto attraverso l'analisi "dinamica" della *nuvola di punti*, si è intervenuti soprattutto sul parametro relativo alla "profondità della vista" che agisce sia sugli elementi propri del modello che sui collegamenti esterni; data una sezione verticale, ad esempio, per evitare la visualizzazione di informazioni non necessarie all'analisi di un elemento specifico, è possibile nella medesima vista variare tale parametro (profondità della vista) così da concentrarsi prima sul profilo sezionato della *nuvola di punti* e poi sull'individuazione degli elementi in prospetto, "discretizzando" i dati di rilevamento con livelli, griglie e piani di riferimento per la modellazione graduale¹¹ degli oggetti digitali. Il fatto che gli ambienti BIM consentano il collegamento (quindi l'archiviazione) e la visualizzazione poi di dati eterogenei, espressi da sottomodelli diversi ma attraverso un'interfaccia comune, non determina risultati positivi solo in merito al processo di costruzione del modello (fig. 3.40);

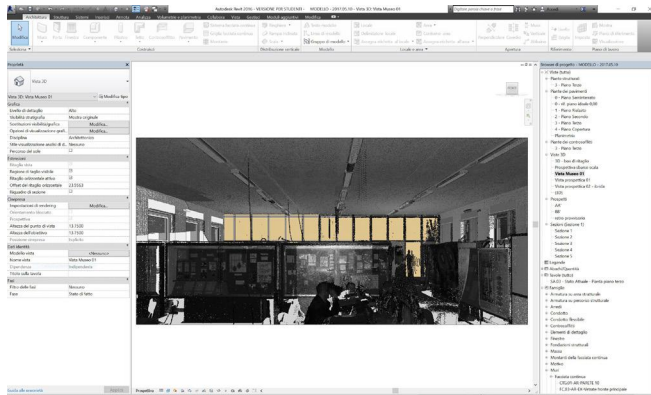


Fig. 3.38 – Visualizzazione in proiezione prospettica del processo di costruzione del modello nella piattaforma di BIM authoring - screenshot del processo in Autodesk Revit.

infatti, tale interfaccia grafica si può affermare che favorisca di per sé quelle logiche di "trasparenza" (Brusaporci, 2017, p. 85) della cui necessità nell'ambito del Patrimonio Culturale è doveroso occuparsi. In tal senso, per l'ambito disciplinare del Disegno, si aprono interessanti scenari di ricerca sulle possibili modalità di "visualizzare la trasparenza" (Brusaporci, 2017, p. 86) del modello o, meglio, di evidenziare in modo chiaro il percorso critico, soggettivo ma ragionato, che porta alla definizione di specifiche scelte interpretative, valutandone e dichiarandone il "grado di affidabilità" (Nicastro, 2016).

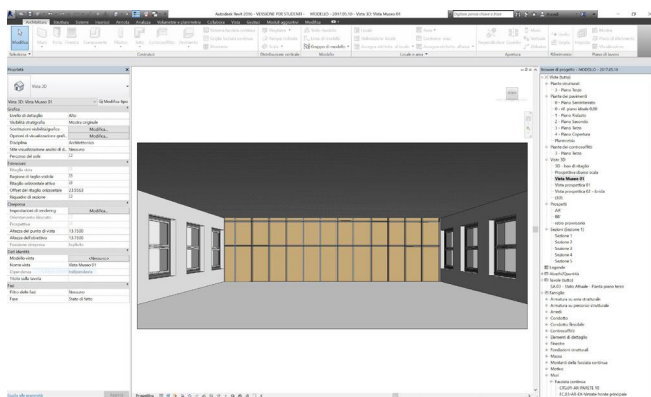


Fig. 3.39 – Visualizzazione in proiezione prospettica degli oggetti digitali del modello della medesima sala nella piattaforma di BIM authoring - screenshot del processo in Autodesk Revit.

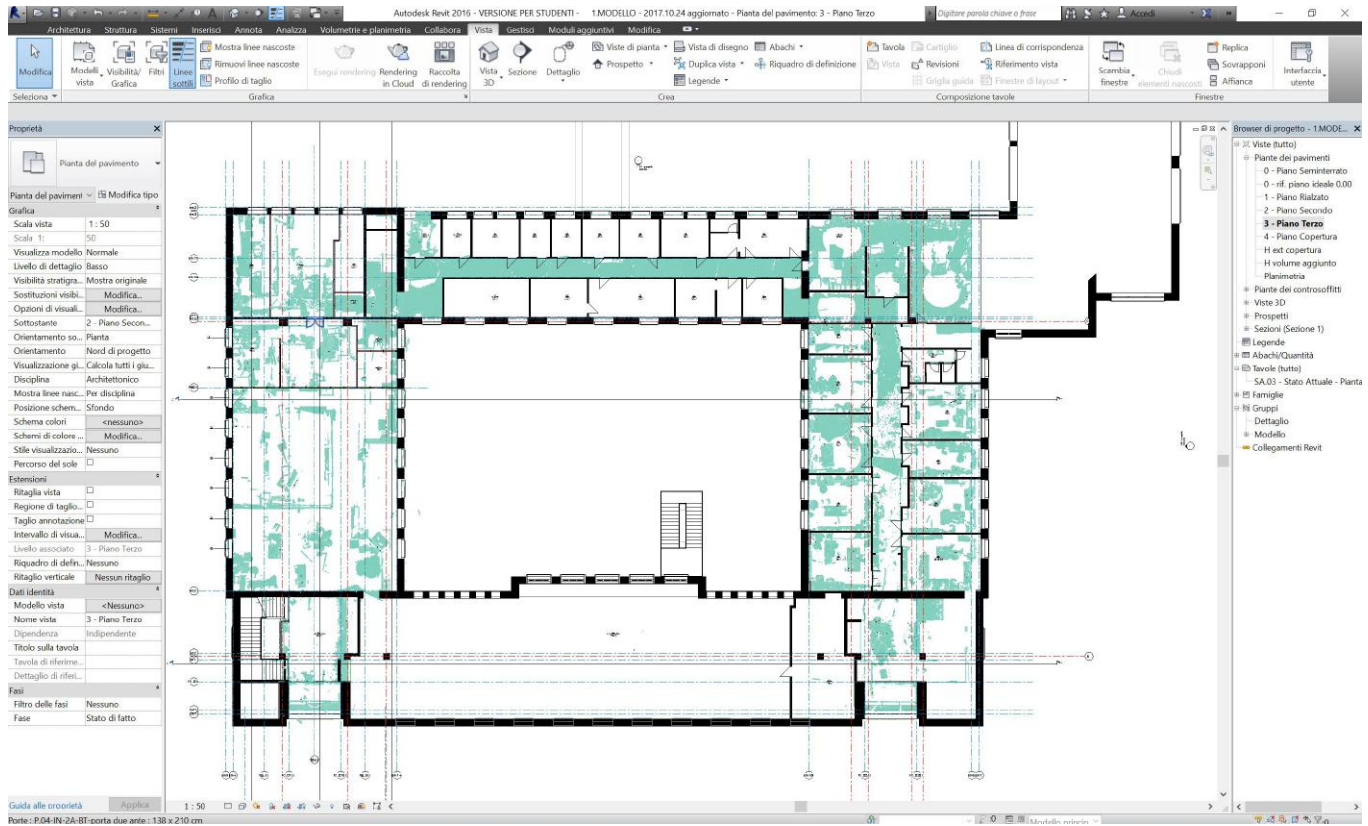


Fig. 3.40 – Visualizzazione del processo di modellazione per l'elaborazione grafica automatica della pianta del piano terzo dell'Istituto in scala 1:100 nella piattaforma di BIM authoring - screenshot del processo in Autodesk Revit.

3.7.2 L'evoluzione concettuale ed operativa delle funzionalità 4D in ambiente H-BIM

La fase sperimentale della ricerca ha pertanto confermato la necessità di intendere il modello informativo come un archivio digitale per esprimere la consequenzialità del processo di conoscenza; questo può avvenire anche attraverso la personalizzazione delle funzionalità che, negli applicativi, consentono la gestione della variabile temporale, ovvero della cosiddetta “quarta dimensione del BIM”. In sintesi, la maggior parte delle piattaforme di BIM *authoring*, essendo state concepite con particolare riferimento ai processi di cantiere, consentono di assegnare agli oggetti digitali una collocazione in una linea temporale nella quale sono distinte, essenzialmente, le fasi costruttive o ge-

stionali del manufatto (un'evoluzione del più diffuso *diagramma di Gantt*); sul mercato, esistono poi specifici *tools* o *plug-in* attraverso i quali le possibilità di simulazione e controllo temporale delle attività in ambiente BIM possono essere gestite in modo ancor più avanzato, ma sempre in riferimento alla cantierizzazione del progetto o al coordinamento spaziale e temporale delle attività per la sicurezza in cantiere, o alla gestione delle cosiddette “varianti” in corso d'opera. A tal proposito, *Autodesk Revit*, ovvero il *software* BIM impiegato per la modellazione dell'Istituto di Geologia e Mineralogia, presenta di *default* delle impostazioni che, distinguendo due semplici fasi temporali, Stato di Fatto e Stato di Progetto, prevedono l'applicazione di specifici “filtri” nelle singole viste per visualizzare o meno gli oggetti digitali appartenenti all'una o all'altra

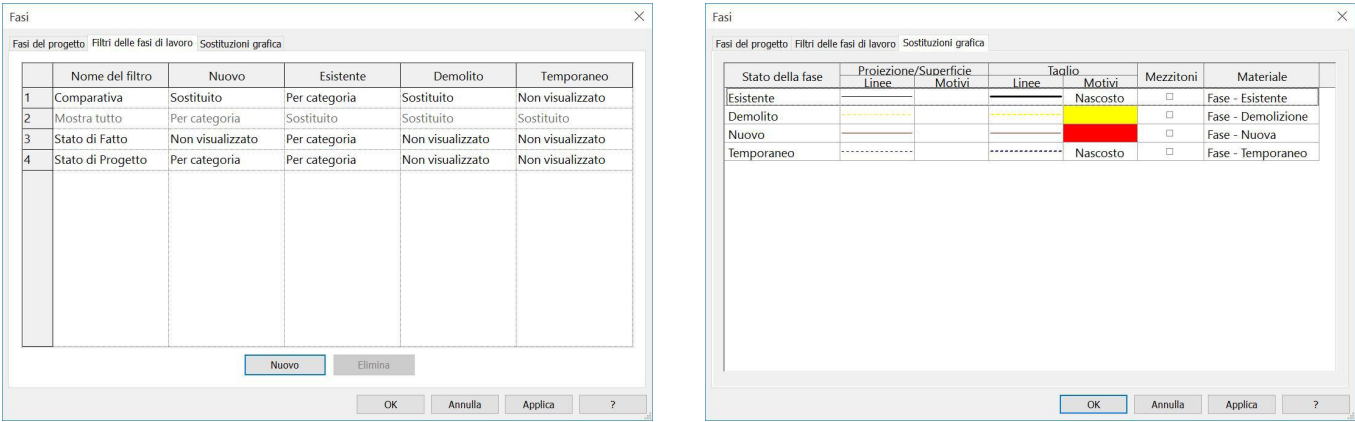


Fig. 3.41 – Visualizzazioni dei pannelli di gestione delle “fasi” temporali, dei “filtri” e delle regole di “sostituzione grafica” preimpostati di default nella piattaforma di BIM authoring - screenshot dal software Autodesk Revit.

fase. Ciò che è più interessante, dal punto di vista dell’ambito della rappresentazione, risiede nel fatto che è possibile stabilire delle regole di “sostituzione grafica” tramite il medesimo pannello di controllo di gestione delle fasi; tali regole consentono di evidenziare automaticamente, a livello grafico, determinati oggetti digitali in relazione alla loro collocazione temporale in una o più specifiche fasi intermedi. Più semplicemente, già all’interno delle medesime impostazioni di *default* del software (fig. 3.41), l’applicazione più comune ed emblematica cui fare riferimento è quella relativa all’impostazione delle fasi, dei filtri e delle regole di sostituzione grafica tipiche per l’emissione di elaborati grafici volti a distinguere le operazioni di demolizione (di solito distinte con campiture di colore giallo) e quelle di ricostruzione (di colore rosso). Nell’ambito dei processi di *Historical-BIM*, più che per la gestione delle fasi costruttive o di cantiere, le funzionalità 4D su descritte possono invece essere impiegate ai fini della conoscenza del manufatto, conferendo alla variabile temporale un’accezione diversa da quella tipicamente assegnatagli negli applicativi di *BIM authoring*. Nel processo di conoscenza di un manufatto di interesse storico-culturale, ad esempio, le consuete analisi sulle fasi storiche di evoluzione della fabbrica potrebbero essere effettuate direttamente in ambiente H-BIM; in virtù dei riscontri bibliografici o d’archivio, la cui importanza è già

stata sottolineata, una volta stabilite le possibili fasi storiche e personalizzata la linea temporale, i singoli oggetti digitali, o specifiche parti del modello, potrebbero essere contraddistinti anche dall’attributo di appartenenza ad una determinata fase storica. Con le dovute cautele e premesse metodologiche, si potrà procedere anche alla modellazione di eventuali oggetti digitali, appartenenti a fasi storiche passate, non più manifeste nel manufatto, tentando delle ipotesi di “ricostruzione virtuale” che, a livello operativo, potrebbero essere gestite con la medesima logica con cui, nell’ambito delle nuove realizzazioni, si gestiscono le possibili soluzioni di variante. In sintesi, personalizzando e implementando le fasi in base alle specifiche necessità metodologiche, si potrà costituire un modello dove saranno esplicitati più chiaramente il limite tra stato di fatto e stato di progetto, o l’appartenenza di un oggetto digitale a una determinata fase storica o, come nel caso studio affrontato, ad un determinato momento del processo di acquisizione dati e conoscenza del manufatto. Tramite la personalizzazione delle regole di sostituzione grafica, ed in seguito all’applicazione dei filtri a determinate viste, si potrebbero così ottenere visualizzazioni tematiche del modello informativo in merito all’evoluzione storica del manufatto o dei momenti salienti del processo stesso di conoscenza, delineando scenari interessanti soprattutto nell’ottica della comunicazione e diffusione del Patrimonio Culturale.

3.7.3 Il controllo degli automatismi di output grafico

Nella fase di applicazione sperimentale sul caso studio, oltre che usufruire delle diverse modalità di visualizzazione (fig. 3.42) del modello ai fini del processo di traduzione dei dati di rilievo, si è cercato di approfondire anche la gestione degli automatismi che, già a partire dalle impostazioni di *default* della piattaforma di BIM *authoring*, disciplinano la rappresentazione del modello, ovvero l'emissione di elaborati grafici convenzionali. Per comprendere la complessità di tali automatismi, dato che il settaggio dei parametri può enormemente influenzare i risultati in termini grafici, si è costretti ad analizzare nel dettaglio alcune specifiche funzionalità del *software* utilizzato sebbene, le medesime considerazioni, valgono in linea di massima per

qualsivoglia altro applicativo di BIM *authoring*, specie se nativo per l'ambito della progettazione architettonica. Fra gli obiettivi di questo approfondimento, è stata la ricerca di una "dimensione autografica" possibile anche nell'utilizzo di questi nuovi strumenti digitali, nell'ottica di dimostrare che risultati personali in termini di espressività sono conciliabili con tali automatismi.

Premesso che un modello informativo in ambiente BIM è costruito come composizione di oggetti digitali, la premessa per un risultato grafico che, nelle viste in proiezione parallela o prospettica, possa dirsi corretto e valido risiede innanzitutto nella corretta associazione degli elementi o, meglio, nel governo dei meccanismi di comportamento degli oggetti (unione, intersezione, sottrazione, estrusione) durante la costruzione del modello; in un certo senso,

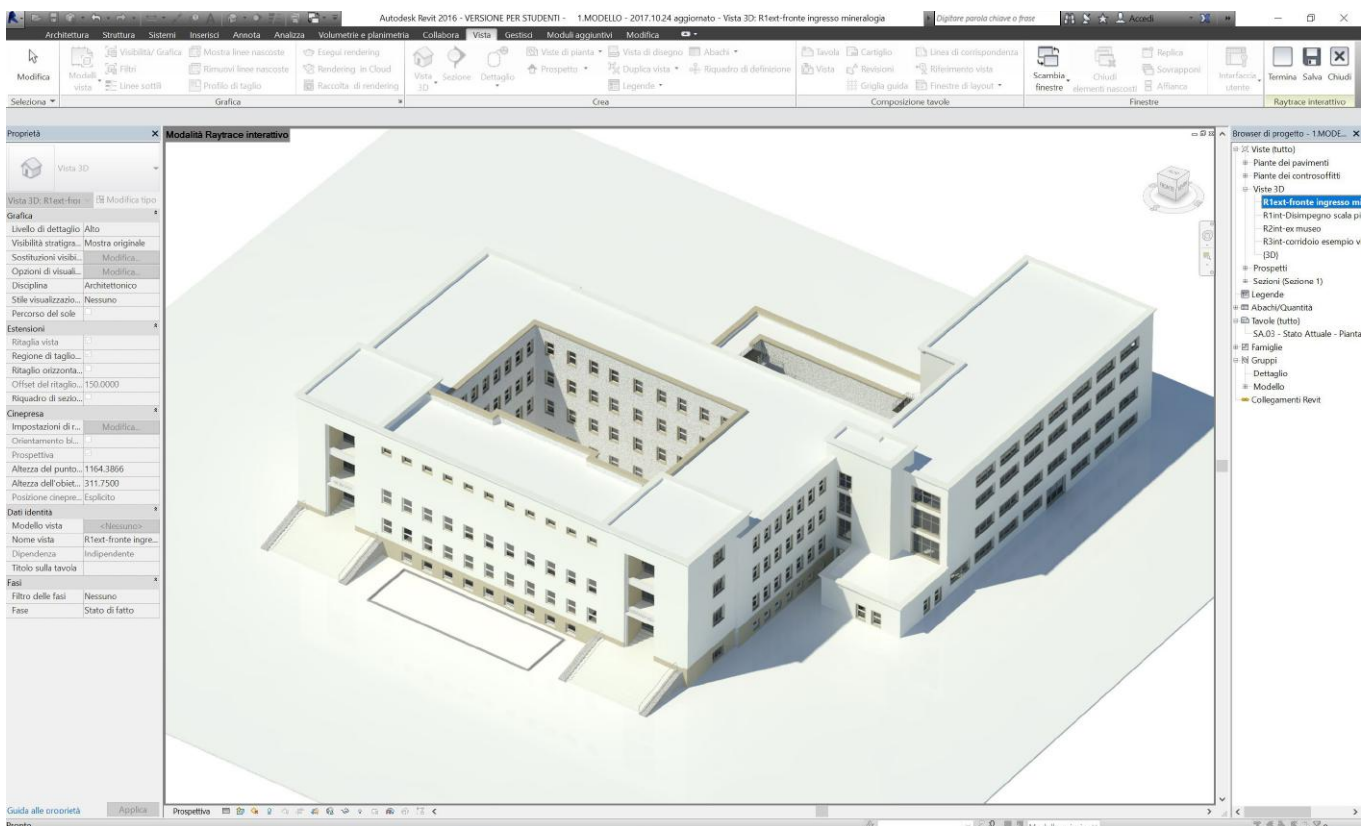
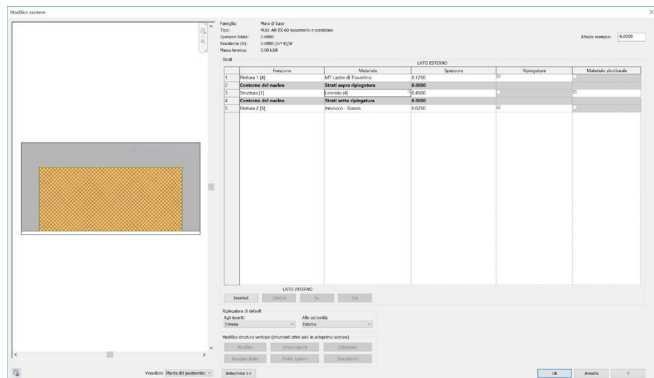
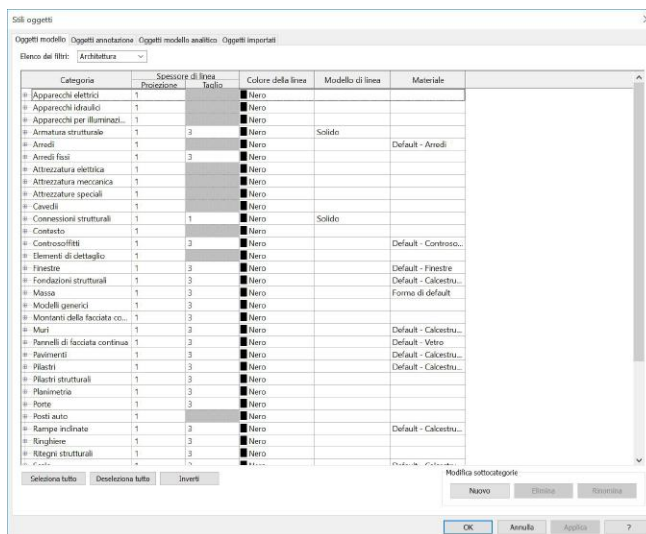


Fig. 3.42 – Visualizzazione assonometrica in modalità raytraced del modello dell'Istituto di Michelucci in corso di elaborazione nella piattaforma di BIM *authoring* - screenshot del processo in Autodesk Revit.



la corretta composizione degli oggetti digitali dal punto di vista tecnologico è necessaria a garantire una rappresentazione altrettanto corretta degli stessi. Volendo chiarire meglio quanto affermato, basti ad esempio pensare ad una semplice composizione di oggetti digitali comuni: un elemento parete perimetrale, con una determinata giacitura, nella quale è inglobato un elemento pilastro, e lungo la quale è posizionato un oggetto finestra. Le relative rappresentazioni grafiche, in pianta o in sezione, potranno dirsi valide solo se, ancora prima delle questioni prettamente grafiche, risultino corrette le diverse giunzioni formali e tecnologiche fra gli oggetti digitali BIM: continuità degli strati di finitura esterna o interna, posizione delle imbotti della finestra rispetto alla bucatura sulla parete, attacco tra solaio e parete, attacco tra elemento portante e “nucleo” della parete, ecc. In questo senso, rispetto al disegno tradizionale, anche elaborato in ambiente CAD, non si può negare che lavorare con strumenti BIM “costringe” a ragionare sugli aspetti costruttivi e tecnologici, ingabbiando forse la velocità del gesto nell’atto compositivo in sè; ciò detto, le piattaforme di BIM *authoring* forniscono degli strumenti di ausilio alla composizione degli oggetti digitali che si vanno sempre più affinando: ad esempio, è possibile gestire in modo semiautomatico il comportamento (tecnologico e di conseguenza grafico) delle stratigrafie degli elementi in corrispondenza di possibili cambi di giacitura.

Fatta questa doverosa premessa, l'importanza della quale è raramente sottolineata nelle ricerche sul BIM, si può dire che i parametri delle piattaforme di BIM *authoring* sui quali intervenire per il controllo dell'*output* grafico sono innumerevoli; solitamente, i *software* sono impostati in modo che la rappresentazione di *default* sia allineata agli



standard più comuni e alle convenzioni grafiche del disegno di progetto esecutivo, comprese quotature, annotazioni o legende. Nell'ambito delle nuove realizzazioni, tale *output* grafico è infatti funzionale e, con uno sforzo non ingente, può essere agevolmente personalizzato; di contro, nell'ambito dell'*Historical-BIM*, e quindi della rappresentazione architettonica di manufatti con caratteristiche

peculiari, è stato necessario intervenire a più livelli e con maggior ricercatezza, sia sui parametri grafici della vista, che sugli attributi di comportamento grafico degli oggetti digitali e delle loro sottocomponenti (fig. 3.44).

In ambiente BIM, impostato un livello di riferimento nel modello, è possibile definire il cosiddetto intervallo di visualizzazione, ovvero individuare la posizione del piano di sezione (orizzontale o verticale che sia); stabilito poi il limite in profondità della vista, che determina ciò che del modello sarà proiettato sul piano di taglio, la proiezione effettiva, parallela o prospettica che sia, potrà avvenire nella vista secondo diversi parametri, i più immediati dei quali riguardano la scala di rappresentazione, il livello di dettaglio (basso, medio o alto), variabili in modo automatico, nonché opzioni di visibilità e di *rendering* (calcolo

delle ombre, illuminazione, ...). Se questa rappresenta già una delle novità operativamente più vantaggiose per l'elaborazione grafica in ambiente BIM, attraverso pannelli di controllo specifici, è poi possibile visualizzare o meno determinati elementi del modello, le annotazioni e i collegamenti esterni, anche applicando delle regole di filtro automatico per visualizzazioni tematiche diverse (fasi temporali, destinazione d'uso delle aree, ...); tutte le impostazioni suddette possono essere salvate e rappresentare quelli che, nel *software* specifico, sono definiti “modelli vista”, ovvero *set* di parametri preimpostati (fig. 3.45) che possono poi essere applicati ad altre viste per giungere a risultati grafici analoghi su più viste del modello.

Attraverso il *browser* della piattaforma di BIM *authoring*, è possibile gestire le viste del modello nel corso della mo-

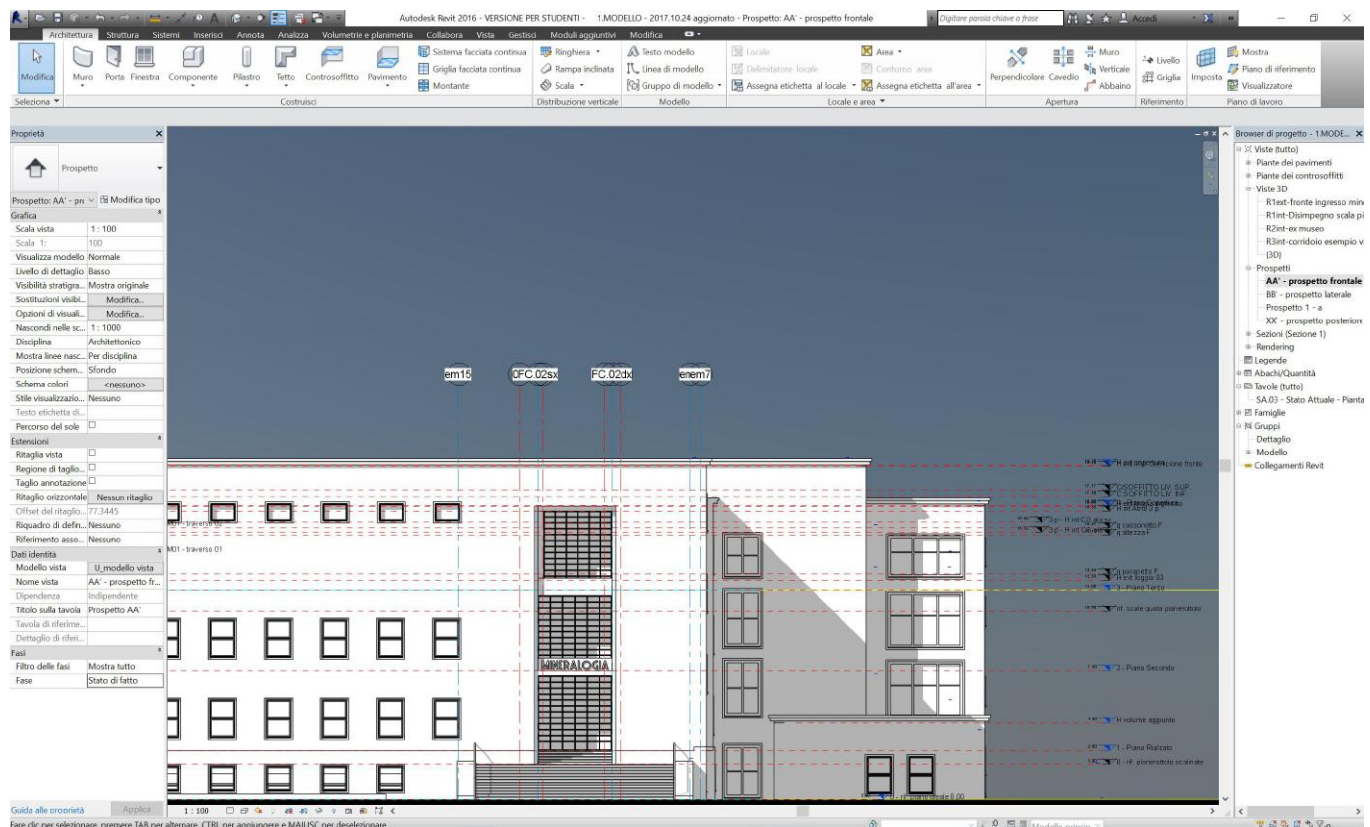


Fig. 3.45 – Visualizzazione del prospetto principale di ingresso in modalità “linee nascoste” e con l’attivazione dei parametri di calcolo delle ombre nella piattaforma di BIM *authoring* - screenshot del processo in Autodesk Revit.

dell'azione e, inoltre, è possibile selezionare quelle che saranno impaginate in vere e proprie tavole (fig. 3.46), previa la scelta della scala e l'esecuzione delle necessarie operazioni di *editing* (annotazioni, campiture, ...) direttamente in ambiente BIM. Le tavole sono esportabili poi in formati editabili (.dwg, .dxf) e non (.jpg, .pdf, .tiff); sulla gestione degli elaborati grafici dilungarsi è inutile, basti sapere che i procedimenti di impaginazione sono avanzati e consentono l'implementazione nelle tavole anche di elementi (1D, e 2D) esterni al modello, ma collegati al *data-base* (immagini, elaborati CAD, file testuali, tabelle, ...). Oltre a governare il comportamento degli oggetti digitali dal punto di vista geometrico, per l'*output* grafico delle visualizzazioni in ambiente BIM è necessario intervenire su attributi specifici degli elementi del modello (*BIM-object*)

o degli elementi di annotazioni (testi, quote, riferimenti, etichette, ...); nell'architettura del *software Autodesk Revit*, ad esempio, è possibile personalizzare la resa grafica di tutti gli oggetti digitali del modello, assegnando per ciascuno dei valori quali spessore di linea (in proiezione e in sezione), colore e tipo di linea, attraverso un pannello di controllo denominato "stile oggetto" che è da intendersi come un'evoluzione del più familiare pannello di gestione dei *layer* dell'ambiente CAD. Queste ultime personalizzazioni sono legate anch'esse ai "modelli vista", nell'ottica di configurare delle modalità di rappresentazione personali applicabili alle diverse viste dei propri lavori in ambiente BIM (figg. 3.45, 3.47).

Il controllo della resa grafica degli oggetti digitali può ancora essere più dettagliato intervenendo sulle proprietà dei

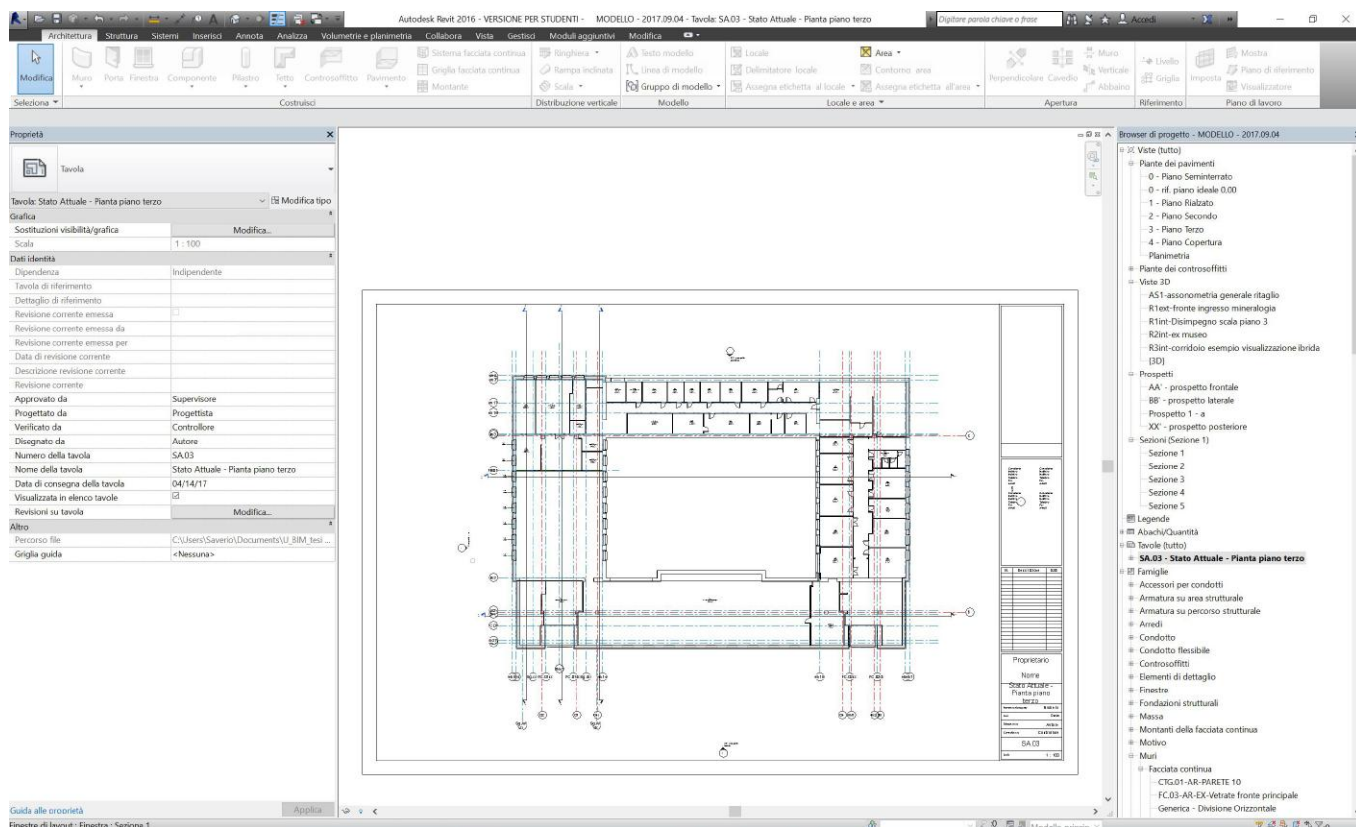


Fig. 3.46 – Visualizzazione del processo di elaborazione grafica automatica nella piattaforma di BIM authoring di una tavola con la pianta in scala 1:100 del piano terzo dell'Istituto - screenshot del processo in Autodesk Revit.

singoli materiali costituenti la stratigrafia o la configurazione dell'oggetto digitale stesso; infatti, per ogni materiale, oltre che le proprietà fisiche e prestazionali, possono essere personalizzate le proprietà grafiche, relative ad esempio alle campiture, da utilizzare in sezione o in prospettiva, o alle *textures* che il *software* può utilizzare per i processi di *rendering* qualora quel determinato materiale risulti visibile nella vista. In ambito H-BIM, considerando che il ricorso a *textures* generiche per le superfici del manufatto può dare adito a rappresentazioni non coerenti, è possibile procedere in maniera analoga a quanto ampiamente testato nell'ambito dei modelli virtuali per la visualizzazione del Patrimonio Culturale; ad esempio, a partire dal rilievo fotogrammetrico digitale del manufatto, è possibile “estrarre” i fotopiani dalla *dense cloud* ed utilizzare

gli stessi per la *texturizzazione* del modello informativo (Continenza et al., 2016, p. 15.6). A tal proposito è doveroso rilevare che tale procedimento, attuato con ottimi risultati nell'ambito di applicativi nativi per la modellazione complessa ed il *rendering*, è ben più ostico in ambiente BIM data la “rigidità”, più volte evidenziata, degli applicativi di BIM *authoring*. Attuate opportune strategie, l'implementazione nel *database* anche dei dati fotografici relativi alle superfici degli oggetti digitali, può risultare però molto utile per la comprensione del manufatto, ad esempio nei processi diagnostici o di analisi del degrado superficiale². In conclusione, se si è scelto di trattare con un taglio così tecnico alcuni dei meccanismi di rappresentazione in ambiente BIM, è per dimostrare che, a fronte di un lavoro non banale di *customizzazione*, è possibile

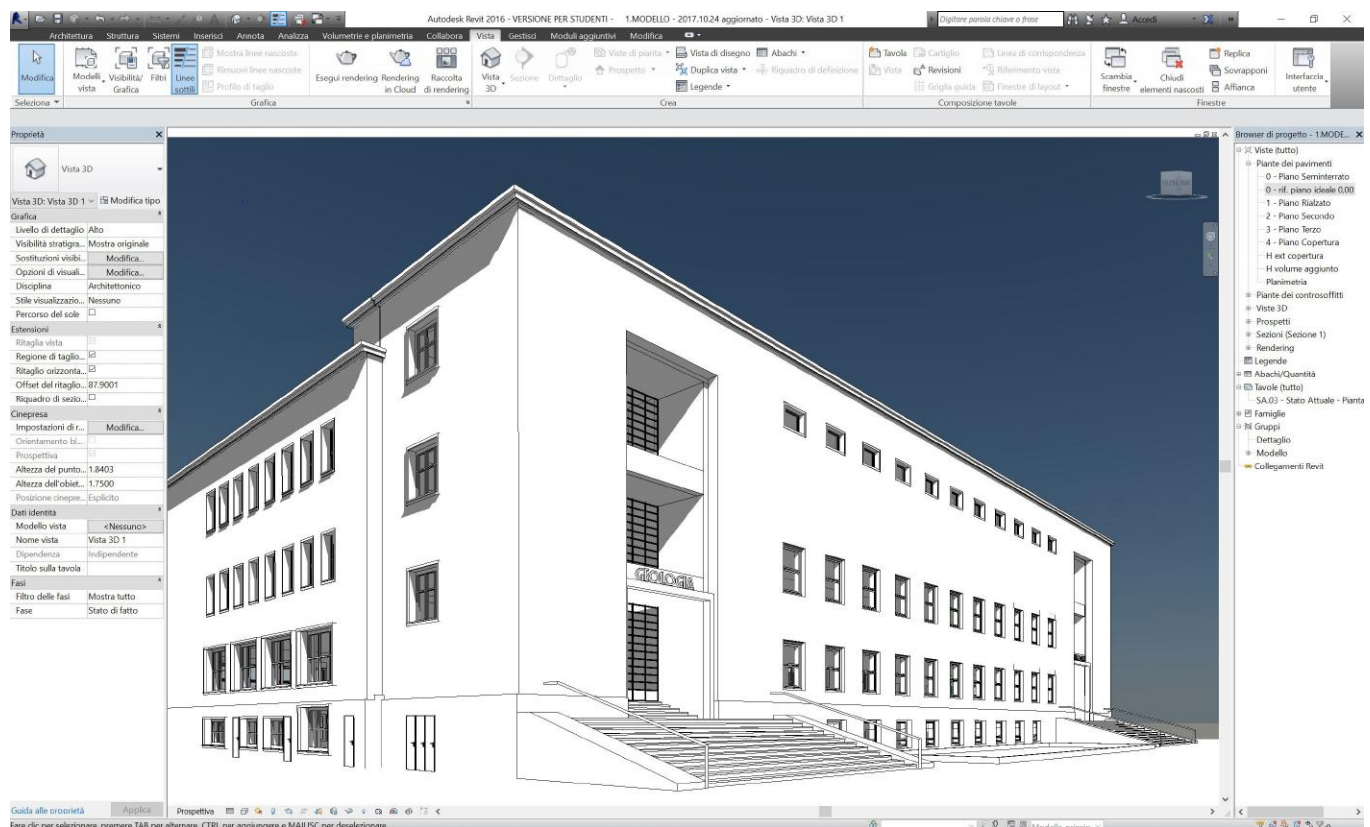


Fig. 3.47 – Visualizzazione del modello dell'Istituto in proiezione prospettica con l'attivazione dei medesimi parametri del modello vista precedentemente configurato nella piattaforma di BIM *authoring* - screenshot del processo in Autodesk Revit.

controllare in modo consapevole i risultati degli elaborati grafici emessi con applicativi di BIM *authoring* (fig. 3.48). Ciò premesso, è però inutile negare che questi processi semi-automatici, seppur governati, tendono per natura a “standardizzare” il Disegno rendendo più difficile, e per niente estemporanea, l’espressione della sensibilità culturale del disegnatore che, decidendo se tracciare o meno un segno, poteva porre l’accento su ciò che di una realtà immanente aveva colto; ragion per cui, soprattutto nell’ambito dell’*Historical-BIM*, ovvero nei processi di discretizzazione e selezione del *continuum* reale per la conoscenza del patrimonio costruito, il settore disciplinare del Disegno dovrà interrogarsi sugli effetti di questa possibile perdita di espressività e sul ruolo che il Disegno potrà rivestire in questa inevitabile rivoluzione tecnologica e culturale.

Note

- 1 Lo studio delle tecnologie costruttive adottate nell’edificio rappresenta una fase estremamente importante per la comprensione del fabbricato e la conseguente strutturazione semantica del modello informativo in ambiente BIM; un’operazione di *reverse engineering* che si basa sull’analisi comparata di svariate tipologie di documenti e i cui risultati sono legati sia alle caratteristiche del manufatto che al grado di affidabilità dei dati a disposizione.
- 2 Le scansioni *laser* degli esterni dell’Istituto di Mineralogia e Geologia sono state effettuate con le seguenti impostazioni: *probe* 25 mt, densità dei punti 2 x 2 cm.
- 3 Le ulteriori scansioni *laser* degli spazi interni sono state effettuate utilizzando una diversa *scan station* (Faro) a disposizione del Dipartimento; rispetto alla *scan station* precedentemente utilizzata (Leica C10), la strumentazione del marchio Faro è ben più recente e, pertanto, più maneggevole e *user-friendly*.
- 4 Si tratta delle piante dei diversi livelli dell’edificio, elaborate con strumenti CAD con un livello di dettaglio riconducibile alla scala 1:100; per questioni di riservatezza, circa l’effettiva provenienza dei disegni, basti sapere che gli elaborati rappresentano le basi *ante operam* di una commessa del 2010 relativa ad opere impiantistiche nella città universitaria.
- 5 L’estensione .rcp corrisponde al formato *file* proprio del *software Autodesk Recap*, un applicativo utile per le operazioni preliminari sulle *nuvole di punti* (*decimating points cloud*, *noise reduction*, etc) da importare poi nell’applicativo di BIM *authoring*.
- 6 Ci si riferisce a progetti quali UNICLASS 2 del Regno Unito (<http://www.cpic.org.uk/uniclass>) oppure OmniClass degli Stati Uniti (<http://www.comniclass.org>).
- 7 <http://www.innovance.it>.

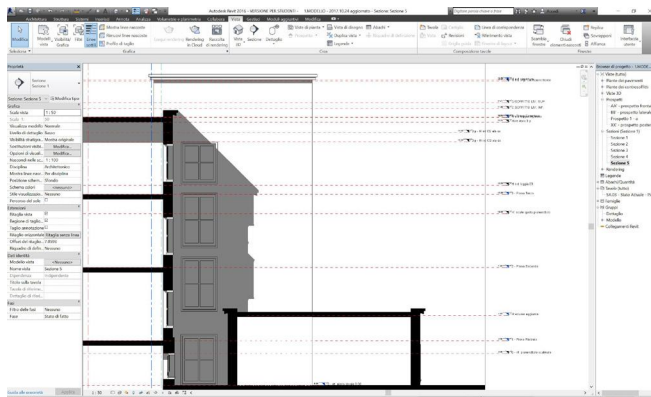


Fig. 3.48 – Visualizzazione di uno stralcio di sezione verticale nel processo di personalizzazione dello stile del Disegno automatico - screenshot del processo in Autodesk Revit.

- 8 CHIABRANDO, F., LO TURCO, M., RINAUDO, F., 2017. Modeling the decay in an HBIM starting from 3D point clouds. A followed approach for Cultural Heritage knowledge. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-2/W5, pp. 605-612.
- 9 L’estensione .rvt è proprietà di Autodesk, nota *software house* produttrice dell’applicativo di BIM *authoring* utilizzato nel corso della ricerca sul caso studio, ovvero Autodesk Revit.
- 10 Alcuni di questi parametri, quali *Intervallo di visualizzazione*, *Riquadro di sezione* o *Profondità della vista*, consentono o meno la visualizzazione di ogni singolo oggetto digitale del modello e dei diversi collegamenti esterni secondo specifiche modalità.
- 11 In un *workflow* così delineato, l’elaborazione critica dei dati di partenza per la modellazione degli elementi parametrici avviene direttamente nello spazio tridimensionale dell’ambiente di BIM *authoring* per graduale approssimazione; per un maggiore controllo dei vincoli geometrici e dei rapporti che si vanno stabilendo, è fondamentale che i collegamenti esterni siano impostati con una logica chiara sin dalle fasi iniziali del processo.
- 12 Si faccia riferimento ad una ricerca condotta sul caso studio di un piccolo edificio di culto in Abruzzo da un gruppo di ricerca dell’Università degli Studi di L’Aquila e dell’ITC del CNR; i risultati dell’applicazione sperimentale sono interessanti dal punto di vista dell’efficace implementazione dei dati derivati dalla *dense cloud* nel modello in ambiente H-BIM. 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). *Disegnarecon*. Vol. 9, n. 16, 2016, pp. 15.1-15.9.

4. Opportunità e aspetti critici nei processi H-BIM: la questione dell'affidabilità

4.1 L'influenza del BIM sui processi di rilievo e di conservazione del Patrimonio Culturale

Considerando che le caratteristiche del patrimonio architettonico di interesse storico-culturale sono connesse tanto all'unicità della "materia dell'opera" (Brandi, 1977, pp. 9-12) quanto alla complessità dei valori intangibili che rappresentano, non è certo semplice conciliare i nuovi strumenti tecnologici a disposizione della comunità scientifica con le questioni umanistiche naturalmente connesse a qualsivoglia attività che abbia per oggetto il Patrimonio Culturale. Ciò nonostante, date le potenzialità dei sistemi informativi nella gestione di grandi quantità di dati eterogenei, può considerarsi ormai dimostrato il ruolo "ermeneutico" che possono svolgere nei processi di conoscenza della realtà tramite la simulazione di sistemi complessi (Brusaporci, 2017, p. 68); inoltre, favorendo l'interrelazione delle informazioni, tali sistemi sono ormai di supporto anche alle attività di analisi dello stato di conservazione e di progettazione degli interventi di conservazione (Acierino et al., 2017). Più specificatamente nell'ambito disciplinare del rilievo, è d'obbligo allora fermarsi a riflettere su come la scelta di adottare il metodo BIM nella conduzione di una campagna di rilievo integrato possa influenzare determinate scelte metodologiche e procedurali, a partire già dal progetto di rilievo, ovvero da quella fase decisionale critica la cui importanza è stata in questi anni più volte sottolineata dalla comunità scientifica; ragion per cui, «il primo momento in ogni rilevamento riguarda quindi tutta quelle serie di attività che debbono condurre ad una critica e consapevole preliminare conoscenza dell'opera, finalizzate alla conseguente progettazione del rilievo»¹.

Analizzando manufatti architettonici esistenti, ognuno dei quali presenterà proprie caratteristiche peculiari, nella definizione del progetto di rilievo e nello studio delle meto-

dologie di lavoro da adottare poi in ambiente H-BIM, è impensabile stabilire un *workflow* standard che risulti valido a priori. In un possibile parallelo con quanto teorizzato nell'ambito del restauro architettonico, ci si renderà presto conto che teorizzazioni e schematizzazioni aprioristiche, astratte e semplicistiche, sono da rifiutarsi, a favore dell'adattamento dei metodi e delle strategie alle specificità dei singoli casi studio. In sintesi, le strategie metodologiche e operative più valide andranno individuate "caso per caso", coscienti tanto dei limiti quanto delle potenzialità dei processi di *Historical Building Information Modeling*; per procedere con maggiore rigore ed efficacia, così come si pianificano le strategie nell'ambito del nuovo attraverso il cosiddetto *Building Execution Plan*, il progetto di rilievo in ottica BIM-oriented è bene sia implementato con specifiche indicazioni operative maturate in base allo studio preliminare del bene architettonico in esame (in particolare dal punto di vista delle possibilità di scomposizione e di parametrizzazione possibili) e in vista degli obiettivi da raggiungere (anche in termini di livello di dettaglio e di affidabilità del modello). Data la frequenza delle eccezioni e la variabilità dei casi, nel panorama della ricerca sui processi H-BIM, sarà pertanto compito del settore disciplinare del Disegno individuare criteri e strategie che presentino obiettivi chiari e preventivamente enunciati ma, al contempo, una giusta elasticità.

Considerazioni analoghe, seppur relative all'ambito delle visualizzazioni *computer-based* del Patrimonio Culturale e alla cosiddetta "archeologia virtuale", sono espresse nella già citata Carta di Londra (AA. VV., 2016) e nella successiva Carta di Siviglia; nel capitolo 2, premettendo che i metodi di visualizzazione digitale del Patrimonio Culturale non necessariamente sono sempre i più appropriati agli obiettivi che ci si è posti, la Carta di Londra invita ad effettuare delle valutazioni preliminari sistematiche per ogni

singolo caso (Denard, 2016, p. 65). Come per il progetto di rilievo, l'obiettivo delle valutazioni preliminari auspiccate dalla Carta riguarda proprio l'idoneità o meno dei diversi metodi digitali a disposizione, da adottare in relazione alle diverse circostanze e agli scopi specifici del progetto di comunicazione (nel nostro caso, di conoscenza) dell'opera in oggetto. Di recente è stata infatti evidenziata la possibile influenza delle riflessioni su citate, maturate dalla comunità scientifica specificatamente nell'ambito della cosiddetta archeologia virtuale, anche nell'ambito della conoscenza del patrimonio architettonico auspicando l'implementazione della Carta di Londra (Brusaporci et al., 2013). Ciò premesso, si delineano all'orizzonte scenari di ricerca teorica e di applicazione sperimentale estremamente interessanti per quella che può considerarsi un'evoluzione metodologica dei processi di rilievo integrato e per una gestione più avanzata dei progetti di conservazione del patrimonio culturale costruito in ambiente H-BIM. In particolare, si è scelto di approfondire l'analisi di due recenti

filoni di ricerca, il primo dei quali delinea la possibilità, in specifici casi, di operare secondo quello che Leonardo Paris e Wissam Wahbeh hanno scelto di definire un "rilievo parametrico"³. Nel caso di elementi architettonici la cui conformazione, seppur complessa, è riconducibile a matrici geometriche, il modello che più coerentemente può descriverle è certamente di tipo matematico; partendo da questa considerazione, e dal fatto che nell'architettura storica sono spesso riconoscibili degli stilemi precisi e sono ricorrenti elementi rispondenti agli ordini architettonici (e quindi a regole e proporzioni), gli studiosi evidenziano che la conversione dei relativi modelli matematici in modelli parametrici risulta possibile con una buona rispondenza in termini geometrici. Per suffragare tale ipotesi, sono riportati in un recente articolo (Paris et al., 2016) i risultati di un'interessante applicazione sperimentale condotta sul caso studio della Scala Regia in Vaticano a partire dai dati di rilievo *remotely-sensed*; in estrema sintesi, il modello virtuale del colonnato è stato elaborato a partire dal model-

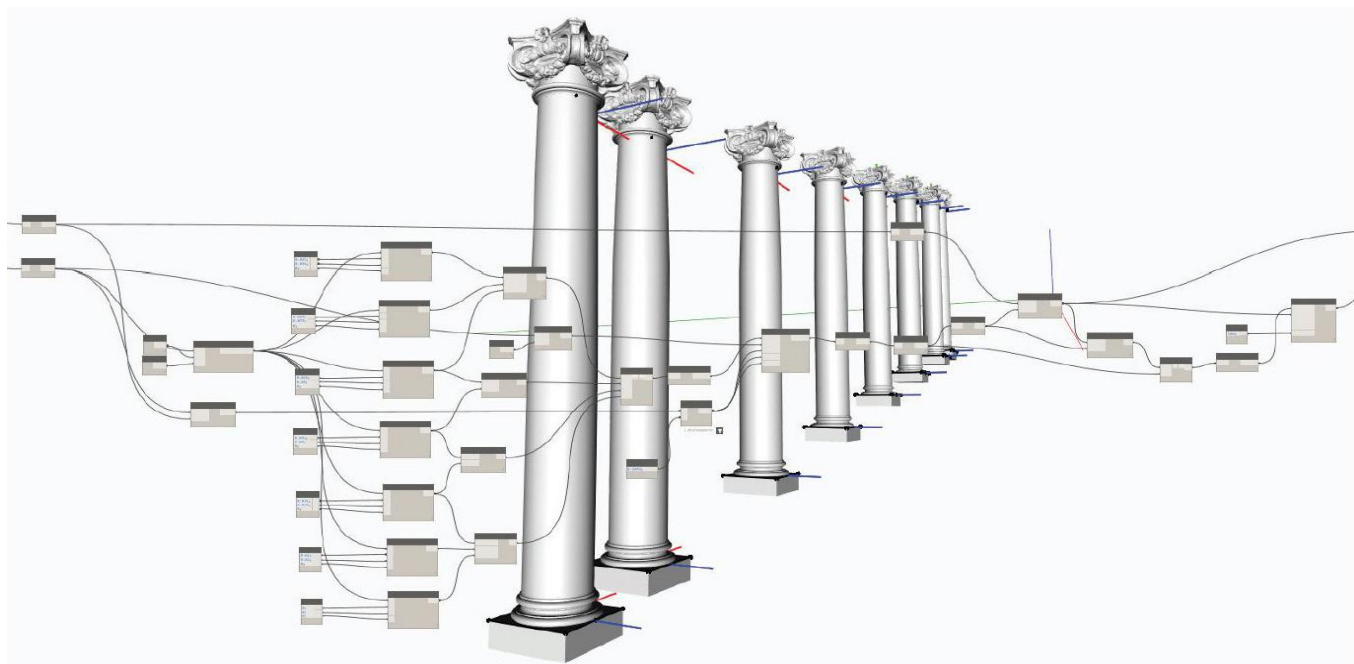


Fig. 4.1 – Modellazione parametrica del colonnato della Scala Regia in Vaticano tramite l'inserimento dei dati di input relativi alle variabili del modello della colonna in un'immagine tratta dalla ricerca condotta da L. Paris e W. Wahbeh (Paris et al., 2016, p. 12.7).

lo parametrico di una colonna, generato inserendo secondo un preciso ordine i valori di *input* relativi a specifiche variabili dimensionali dell'elemento architettonico, estrapolati puntualmente dalla *nuvola di punti* a disposizione (fig. 4.1). L'approccio parametrico sperimentato dai due studiosi, apre alla possibilità di "determinare nuove modalità di rilievo" (Paris et al., 2016, p. 12.3), ovvero di procedere alla modellazione virtuale di un elemento dell'architettura storica avendo rilevato lo stesso non nella sua complessità ma limitatamente ai dati relativi alle variabili parametriche del modello geometrico che si è prefigurato. Operando in questo modo, è evidente l'importanza che rivestono la fase del progetto di rilievo e quella di analisi della conformazione degli elementi costituenti il manufatto al fine di prefigurare le variabili parametriche che, una volta rilevate, consentiranno la traduzione in ambiente BIM del *continuum* reale. Altro aspetto interessante della ricerca riguarda la possibilità, di cui si è già discusso relativamente al caso studio dell'opera di Michelucci, di collegare al modello parametrico altre tipologie di modelli; ad esempio, nel caso specifico del colonnato della Scala Regia in Vaticano, data la conformazione complessa dei capitelli, i ricercatori hanno infatti proceduto elaborando i modelli *mesh* (fig. 4.2) degli stessi a partire dalla *nuvola di punti*, collegandoli poi ai modelli parametrici delle colonne (secondo una regola di modellazione e dei punti di inserimento predeterminati). Tutto ciò premesso, se nel settore delle costruzioni possono dirsi ormai definite le figure del BIM *Coordinator*, del BIM *Manager*, e del BIM *Modeler*, ricerche accademiche come quella su descritta sottolineano la necessità di definire un'ulteriore possibile figura in ambito H-BIM, quella del BIM *Surveyor*, ovvero di una figura con una preparazione culturale e tecnica tale da poter strutturare e gestire processi di tale complessità. Inutile ribadire che il settore disciplinare del Disegno dovrebbe rivestire un ruolo guida nella corretta definizione, e nella necessaria formazione, della suddetta figura, per garantire il rigore scientifico e la validità dei processi H-BIM.

L'evoluzione dei sistemi di modellazione informativa di questi ultimi anni, considerata la necessità di digitalizzazione dei processi di documentazione e conservazione del Patrimonio Culturale, ha interessato anche l'ambito del

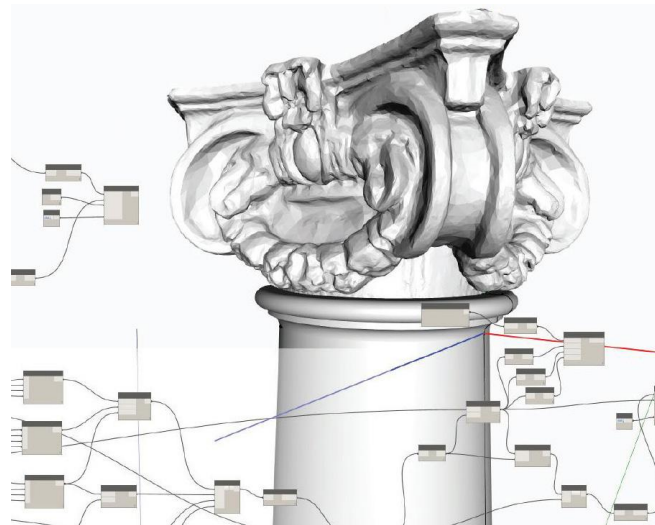


Fig. 4.2 – Collegamento del modello *mesh* del capitello (elaborato dalla nuvola di punti) ad un punto notevole del modello parametrico di una colonna della Scala Regia in Vaticano in un'immagine tratta dalla ricerca di L. Paris e W. Wabeh (Paris et al., 2016, p. 12.7).

restauro architettonico, sia a livello accademico che professionale⁴; sebbene nella ricerca siano già state esposte a tal proposito alcune delle strategie prettamente operative possibili in ambiente H-BIM (ad esempio per la mappatura del degrado superficiale attraverso le "componenti generiche adattive"), è d'obbligo fare una breve parentesi, di carattere più generale, sull'influenza di sistemi informativi sulle ultime ricerche accademiche nel settore disciplinare del Restauro dell'Architettura. A tal proposito, estremamente interessanti sono le prospettive di ricerca delineate da Donatella Fiorani e Marta Acierno della Sapienza Università di Roma⁵, cui non a caso si è fatto più volte riferimento nella ricerca; presupposto di partenza delle ricerche è che, nella gestione di un manufatto di interesse culturale, l'intervento di restauro non può intendersi come un singolo momento, bensì come una delle tappe fondamentali del ciclo di vita del manufatto stesso, in vista di una sua gestione sempre più consapevole e attenta, coadiuvata possibilmente proprio dai nuovi strumenti digitali a disposizione in un'ottica BIM-oriented. In estrema sintesi, nelle suddette ricerche (Acierno et al., 2017; Fiorani et al., 2017), il metodo BIM si inserisce nella definizione attenta

e dettagliata di una nuova specifica tipologia di modello ontologico, denominato dal gruppo di ricerca CPM, ovvero *Conservation Process Model*. Tale modello segue le note strutturazioni ontologiche Cidoc CRM e FRBRoo per il Patrimonio Culturale e intende, oltre che rappresentare i contenuti semantici del manufatto, anche favorire l'integrazione e lo scambio delle informazioni inerenti i processi di conservazione (fig. 4.4); nella strutturazione del *Conservation Process Model*, la modellazione della cosiddetta analisi del degrado, superficiale e strutturale, rappresenta un momento di cruciale importanza. Determinato lo stato di conservazione dell'opera, la definizione del progetto di conservazione deriva da una valutazione complessiva, e critica, dei fenomeni mappati favorita proprio dalla visione globale che di un manufatto si può avere in ambiente BIM; in sintesi, la ricerca mette in guardia dalla possibile ma assolutamente errata applicazione di automatismi che colleghino i fenomeni di degrado agli interventi di conservazione, sottolineando ancora una volta l'importanza delle competenze culturali e delle capacità critiche degli operatori per la validità scientifica dei processi. In questo processo di transizione digitale, inevitabile ma

graduale, si può affermare che l'introduzione dei sistemi BIM nei processi di conoscenza e gestione del patrimonio architettonico esistente non dovrà intendersi affatto come sostitutiva delle tecniche e dei metodi consolidati da decenni di ricerca accademica ed applicazione professionale. Nonostante la diffusione e la sempre più facile disponibilità delle tecnologie ICT, è solo operando secondo principi rigorosi dal punto di vista scientifico che sarà possibile costruire in ambiente H-BIM quello che nella Carta del Rilievo Architettonico (AA. VV., 2000) era stato definito come un "sistema informativo localizzato" nel quale potranno muoversi diverse figure il cui fine dovrà comunque essere la conoscenza profonda del patrimonio. Se adottati in modo rigoroso già nelle fasi iniziali di un rilievo, nonché nell'analisi dello stato di conservazione del patrimonio architettonico, i sistemi BIM possono effettivamente rappresentare lo strumento attraverso il quale operare una "sintesi ragionata dei dati", favorendo l'integrazione delle competenze, ovvero "l'osmosi di conoscenze tra i vari settori disciplinari o professionali" (Inzerillo et al., 2016, p.16.2), necessaria tanto nella progettazione del nuovo che nell'ambito del costruito storico.

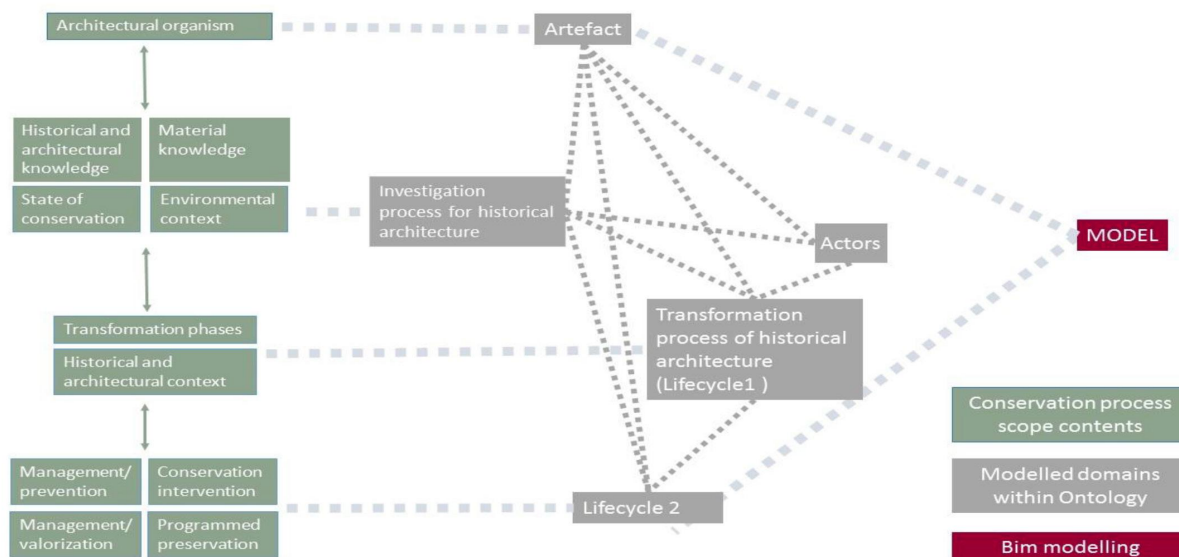


Fig. 4.3 – Il Conservation Process Model (CPM) nello schema delineato da Donatella Fiorani e Marta Acierno.

to BIM-oriented; a tal proposito, è bene evidenziare che un'altra tipologia di controlli che si possono effettuare sui modelli informativi è quella cosiddetta di *Code Checking*. In breve, tramite specifici applicativi, è possibile validare un modello anche dal punto di vista della rispondenza a specifiche normative di riferimento (ad esempio, rispetto dei requisiti per l'aero-illuminazione degli ambienti, per l'accessibilità degli spazi agli utenti con ridotta mobilità, per la resistenza al fuoco dei materiali impiegati, ...); il settaggio dei parametri degli applicativi di *Code Checking* nonché la propedeutica attribuzione delle relative informazioni ai BIM-object del modello informativo, è in questi casi più complessa ma estremamente interessante per i possibili scenari di ricerca che si aprono, sebbene apparentemente estranei all'ambito disciplinare del Disegno, immaginando controlli automatici di natura non solo geometrica.

Le strategie di controllo fin qui discusse sono ormai relativamente consuete nei processi edilizi di nuova costruzione condotti con l'ausilio del metodo BIM, soprattutto in quelle realtà come il Regno Unito in cui l'utilizzo di tali nuovi strumenti digitali è cogente nell'ambito dei lavori pubblici oltre determinate soglie di importo lavori. Indubbiamente, con un'ulteriore sforzo di personalizzazione, tali automatismi di controllo potrebbero essere "sfruttati" anche nel panorama italiano dell'edilizia esistente e, soprattutto, in ambito H-BIM per il patrimonio di interesse culturale. Sebbene nei processi di traduzione in BIM-object del Patrimonio Culturale la validazione dei modelli dovrebbe essere "misurata" secondo parametri del tutto particolari rispetto a quelli fin qui esposti, si può però affermare che il fine ultimo di tali controlli è comune perchè legato alla necessità di trasparenza (Brusaporci, 2017, p. 88), più volte sottolineata nel corso della ricerca, tanto negli appalti quanto nei processi di conoscenza sul Patrimonio Culturale. Calate nei processi di *Historical Building Information Modeling*, più che per l'evidenziazione di interferenze o per la rispondenza alle norme, le attività di *model review* potrebbero coadiuvare i *team* di ricerca nell'esecuzione di controlli volti ad evidenziare anomalie dal punto di vista dell'accuratezza geometrica (intesa anche come rispondenza tra modello numerico e modello geometrico)

nonché incongruenze nella progettazione delle gerarchie e nella strutturazione semantica degli oggetti digitali alla realtà di studio.

Relativamente al controllo della rispondenza geometrica, una possibile modalità di esecuzione di analisi comparative a posteriori sul modello informativo è quella descritta da un'interessante studio di un gruppo di ricercatori dell'Università Politecnica delle Marche (Quattrini et al., 2016). A partire dai dati *remotely-sensed*, e una volta costruiti i modelli informativi relativi a due diversi casi studio (chiesa di Santa Maria di Portonovo e palazzo Ferretti ad Ancona), il gruppo di ricerca ha infatti eseguito delle comparazioni tra la *nuvola di punti*, usata come riferimento, e il modello tridimensionale esportato dall'applicativo di BIM *authoring* nel formato file .obj⁷ (fig. 4.5). Questa verifiche di "aderenza" geometrica con il modello numerico della *nuvola di punti*, effettuate attraverso l'applicativo *CloudCompare*, non sono pensate specificatamente per l'ambiente BIM, tanto è vero che sono già in uso in generale nei processi di modellazione a partire dai dati massivi; ciò nonostante, fatte le dovute premesse, i risultati ottenuti dalle verifiche (fig. 4.6) potrebbero essere letti come una misura, relativamente oggettiva, del livello di semplificazione adottato nel processo di elaborazione dati dal punto di vista della rispondenza geometrica tra le superfici rile-

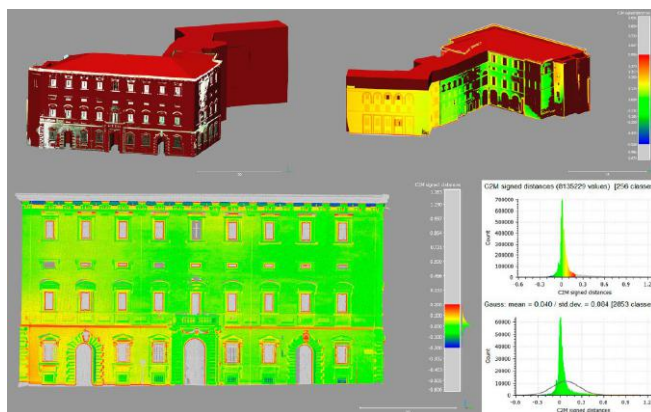


Fig. 4.5 – Comparazione della nuvola di punti e del modello geometrico di palazzo Ferretti ad Ancona eseguita tramite il software *CloudCompare* in una tesi di laurea in Ingegneria Edile, relatore Prof. Ramona Quattrini.

vate (dati tendenzialmente oggettivi) e il modello “ideale” (dati inevitabilmente soggettivi) costituito da BIM-object. La valutazione dei risultati, rappresentati da quelle che sono definite “deviazioni” tra le due tipologie di modelli della medesima realtà, dovranno però essere letti con particolare cautela, disponendo di una preparazione culturale adeguata per poterne distinguere la natura e il significato; tali deviazioni, infatti, possono essere legate alla semplificazione delle forme geometriche, in parte inevitabile nei processi H-BIM, o al livello di astrazione usato nella modellazione di elementi, definiti *ad hoc*, ma ripetuti più volte nel modello come tipologici. Nel caso in cui sussistano le condizioni per poter considerare il modello BIM del manufatto, o di una sua specifica parte, come la rappresentazione della conformazione ideale della realtà che descrive, la misura delle suddette deviazioni potrebbe anche essere “assegnata” come attributo specifico all’oggetto digitale BIM; oltre che dal punto di vista grafico, tale scostamento sarebbe così archiviato anche a livello testuale nel modello informativo, con una funzione esplicativa che richiama le riflessioni di Stefano Brusaporci sui *paradata* intrinseci ed estrinseci del modello (Brusaporci, 2017, pp. 82-84). Così operando, tali dati potrebbero ad esempio risultare utili per la descrizione di un ipotetico schema delle deformazioni in atto (Quattrini et al., 2016, p. 14.7), evidenziato dagli scostamenti tra la forma ideale, descritta nel modello BIM a livello geometrico, e quella più oggettiva, descritta dal modello numerico di una *nuvola di punti*, e per le possibili verifiche da parte della comunità scientifica.

Se le verifiche sulla rispondenza geometrica dei modelli alla realtà sono in un certo senso più semplici da attuare, nonché più oggettive, le strategie per il controllo della corretta strutturazione semantica degli oggetti digitali pongono questioni ben più complesse. Allo stato attuale della ricerca, ciò che si può certamente affermare è che sulla trasparenza dei modelli informativi e sulla loro conseguente validità scientifica sono influenti l’accuratezza del processo di rilievo in sè, la completezza delle indagini preliminari d’archivio e l’attendibilità del materiale reperito, così come l’esecuzione di indagini specialistiche volte a superare le superfici visibili del manufatto, a indagare la materia o a “diagnosticare” eventuali fenomeni degenerativi.

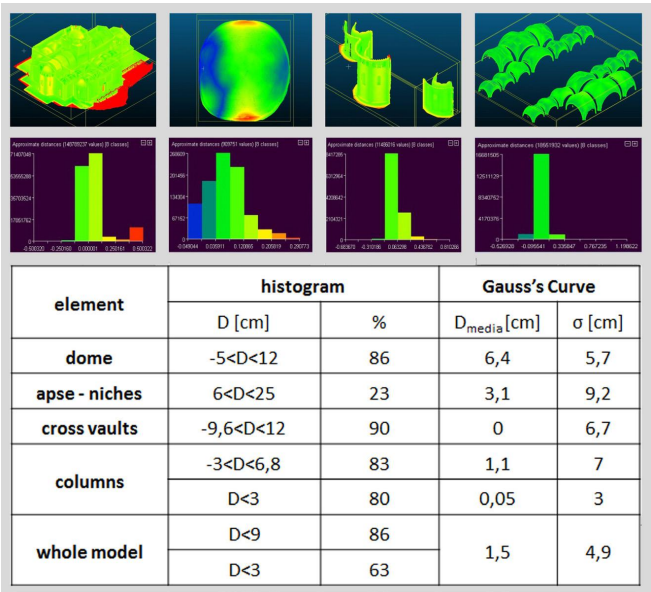


Fig. 4.6 – Analisi quantitativa delle “deviazioni” tra il modello della chiesa di Santa Maria a Portonovo (AN) e il rilievo laser scanner eseguito dal DICEA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura dell’Università Politecnica delle Marche.

Inutile sottolineare in conclusione che, per questi controlli di natura critica in ambito H-BIM, gli automatismi degli applicativi di *model review* non sono ancora affatto indicati. Nella possibile validazione dei modelli informativi relativi al patrimonio esistente, specie se di interesse culturale, le strategie operative di controllo così come le modalità possibili di archiviazione (e rappresentazione testuale o grafica) dei *paradata* rappresentano infatti un campo di ricerca teorica ed applicativa a dir poco interessante, nonché doveroso, per la comunità scientifica. In conclusione, è naturale fare ancora una volta riferimento ai principi generali della Carta di Londra (AA. VV., 2016), secondo la quale è auspicabile che la ricerca accademica si dedichi allo studio di queste strategie di controllo e validazione delle elaborazioni digitali (nel caso specifico, dei modelli informativi del Patrimonio Culturale); l’investimento sarà infatti ripagato nel tempo in considerazione del valore aggiunto che l’evoluzione di tali controlli potrà garantire sulla validità dei processi H-BIM in termini di trasparenza, rigore scientifico ed integrità intellettuale (Denard, 2016).

4.3 L'esplicitazione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi H-BIM

4.3.1 Rigore scientifico e responsabilità intellettuali nella traduzione BIM-oriented del reale

Per quanto nei processi di conoscenza del patrimonio esistente ci si possa prefiggere gli obiettivi dell'oggettività e della trasparenza (per certi versi chimerici), il rilievo si fonda inevitabilmente sull'intelligenza dell'interpretazione critica dei dati raccolti da parte dello studioso, in un processo che può dirsi ermeneutico. Nelle ormai consolidate metodologie di rilievo integrato, la restituzione dei dati raccolti con tecniche di acquisizione massiva, ad esempio la traduzione della *nuvola di punti* in superfici *mesh* o la produzione di elaborati grafici sulla base di immagini ortografiche della stessa, conduce a risultati il cui grado di attendibilità può considerarsi relativamente alto, vista la "neutralità" dei dati numerici di partenza per la costruzione dei corrispondenti modelli geometrici; lungi da considerazioni semplicistiche, le suddette strategie operative si basano in parte su una sorta di "ricalco", controllato e consapevole, dello sviluppo superficiale o dei profili in vista e sezione della enorme quantità di punti rilevati dagli strumenti. Nel processo di discretizzazione e selezione della realtà però, dato che la necessità di conoscenza del patrimonio architettonico non può certo fermarsi alla superficie del manufatto o alla diagnosi dei soli fenomeni di degrado "cutanei", è necessario che l'operatore si spinga oltre il dato numerico che descrive indistintamente il *continuum* dello spazio in oggetto, magari effettuando rilievi diretti di dettaglio, indagini diagnostiche (distruttive e non), così come ricerche bibliografiche e d'archivio sul bene oggetto di studio. E in questo processo di sintesi critica, nel quale fondamentali sono le competenze nell'ambito della storia dell'architettura, delle tecniche costruttive, dei materiali, nonché dei fenomeni di degrado superficiale o strutturale, l'operatore è solito delineare negli elaborati grafici di rilievo anche elementi la cui ricostruzione è complessa, ad esempio, per la scarsità dei dati a disposizione o più semplicemente perché non direttamente visibili; nell'ambito del disegno di rilievo, a garanzia della validità

del "prodotto", esistono però consuetudini grafiche che, con simbologie, colori o tratteggi normalizzati, consentono agli studiosi di specificare graficamente tali elementi, frutto di una più spinta interpretazione critica della realtà, e di comunicare in un certo senso la trasparenza dei propri risultati alla comunità scientifica. Come più volte sottolineato, il processo di ri-costruzione per oggetti digitali di un manufatto architettonico in ambiente H-BIM, si basa anch'esso sull'interpretazione critica da parte dell'operatore dei dati acquisiti; allo stato attuale della ricerca, però, non si può certo negare che il livello di astrazione cui normalmente si ricorre in questi processi sia maggiore rispetto alle metodologie più convenzionali di rappresentazione grafica e che, conseguentemente, il grado di oggettività dei risultati possa dirsi minore. Inoltre, nei processi di *Historical Building Information Modeling*, premesse le differenze tra i nuovi modelli informativi e le metodologie tradizionali di rappresentazione architettonica o di modellazione tridimensionale, non può considerarsi sufficiente adottare delle strategie cautelative relative al solo *output* grafico nel disegno di rilievo; se il modello BIM consente infatti di gestire *metadata* e *paradata* (Brusaporci, 2017, pp. 70-71) relativi al processo di conoscenza, la comunità scientifica ha l'obbligo di riflettere su come esplicitare nel *database* le informazioni meno attendibili e gli oggetti digitali di dubbia o troppo soggettiva ricostruzione virtuale.

Sebbene sia stata più volte evidenziata la sostanziale differenza tra i dati raccolti in seguito ad un rilevamento condotto con tecnologie di acquisizione massiva e i dati, non direttamente visibili, necessari alla modellazione in ambiente BIM, la ricerca ha inteso dimostrare che l'integrazione fra le suddette metodologie di lavoro è possibile ed auspicabile, previa la definizione di chiare premesse teoriche e metodologiche; la necessità di adottare tali precauzioni, in un *workflow* che possa dirsi rigoroso dal punto di vista scientifico, nasce anche in considerazione delle specifiche responsabilità che il BIM concorre a determinare per le differenti figure professionali o accademiche coinvolte nel processo di conoscenza e conservazione di un bene architettonico, specie se di interesse storico-culturale. Nelle operazioni di modellazione geometrica ed informativa in ambiente H-BIM, data la soggettività di determinate

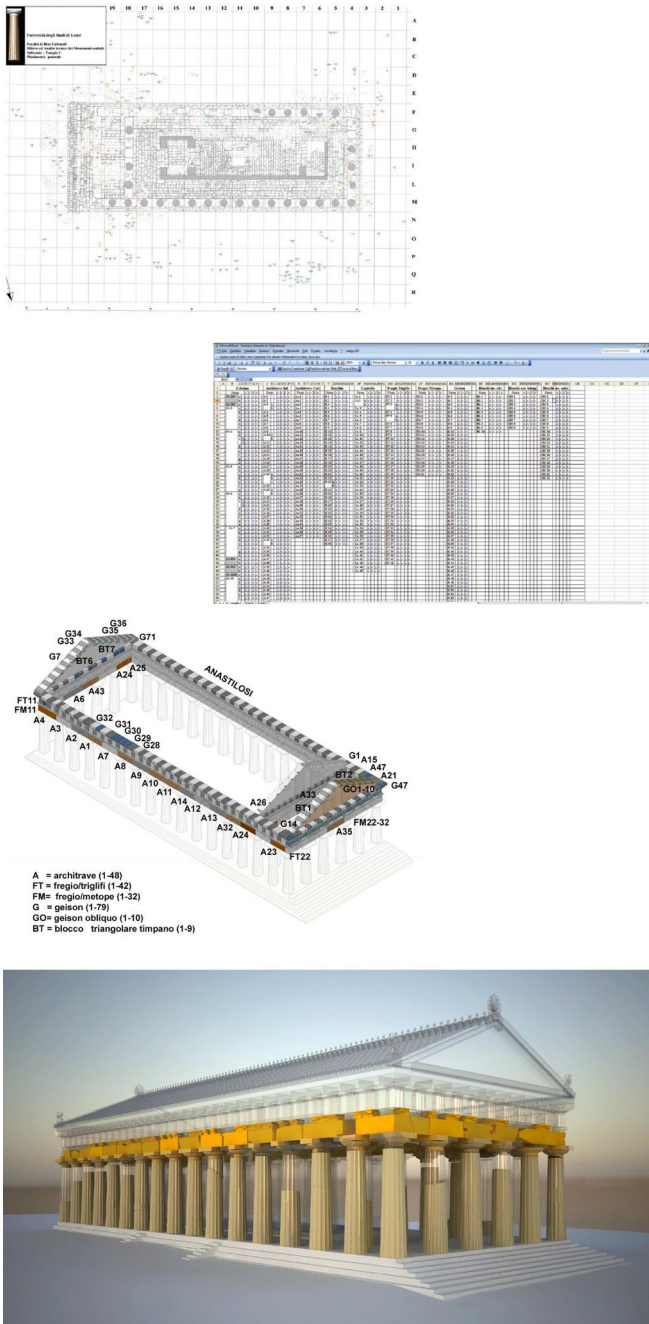


Fig. 4.7 – Il processo di ricostruzione virtuale del Tempio C di Selinunte a partire dal rilievo e dallo studio delle singole componenti, in una ricerca dell'Università di Lecce, progetto Land-Lab.

scelte e la mole di informazioni in gioco, la definizione dei limiti di responsabilità dei soggetti coinvolti è un tema ancor più scottante e di difficile governo; premesso che la condivisione in tempo reale dei dati può anche comportare che l'errore di un singolo attore del processo sia causa di altri errori, ripercuotendosi automaticamente sull'operato degli altri attori coinvolti, è chiaro quanto importante sia l'intervento del legislatore per stabilire, ad esempio a livello contrattuale, i limiti di responsabilità professionale. Ma ancor più importante rispetto a quello del legislatore, è il ruolo che la comunità scientifica può giocare nella risoluzione delle più complesse questioni legate alla "responsabilità intellettuale" degli operatori nell'ambito delle attività digitali sul Patrimonio Culturale e, nello specifico, dei processi di *Historical Building Information Modeling*; lungi dai proclami delle case produttrici di software, nonché dalle strategie semplicistiche da più parti sbandierate, sin dal primo approccio ai sistemi BIM e dalle prime fasi della ricerca (Nicastro, 2016) si è infatti avuta coscienza dell'importanza di operare secondo principi rigorosi, sia dal punto di vista tecnico che intellettuale, nel guardare al *Building Information Modeling* dal punto di vista dell'ambito disciplinare del Disegno.

Nelle riflessioni iniziali, particolarmente significativa è stata la lettura della Carta di Londra per la visualizzazione digitale del patrimonio culturale⁸, nella cui introduzione⁹ si sottolineava già la necessità di stabilire dei principi che, tenendo conto delle potenzialità e peculiarità dei nuovi strumenti digitali, assicurassero un livello di scientificità dei metodi adottati e dei risultati stessi (Denard, 2016, p. 58). Continuando nella lettura del capitolo introduttivo, la Carta auspicava infatti che, nelle ricerche basate su visualizzazioni digitali del patrimonio culturale, fossero espresse in modo chiaro lo stato della conoscenza che queste rappresentavano e che fossero esplicitate le prove e le ipotesi, secondo differenti livelli di probabilità¹⁰. Per meglio comprendere tale approccio scientifico nell'ambito delle visualizzazioni *computer-based* del Patrimonio Culturale, si può citare a mo' di esempio lo studio di ricostruzione digitale del Tempio C di Selinunte in Sicilia (fig. 4.7), condotto nell'ambito del progetto Land-Lab (Laboratorio multimediale di ricerca, formazione e comunicazione sui

paesaggi archeologici) avviato nel 2003 dall'Università degli Studi di Lecce¹¹. Utilizzando metodologie di studio rigorose, la ricerca sul Tempio C è partita dai rilievi metrici dei singoli elementi collassati del bene archeologico (identificati puntualmente tramite abachi), dall'analisi attenta delle parti su base cartografica e in forma di *database* testuali, per giungere infine ad un'ipotesi di ricostruzione digitale del manufatto archeologico tramite un processo che può essere definito di "anastilosi virtuale" (fig. 4.7).

Tralasciando i giudizi in gran parte positivi sul valore comunicativo di ricostruzioni digitali così attuate, è importante sottolineare che l'attendibilità di tali prodotti dipende strettamente dal rigore scientifico del processo metodologico di elaborazione critica dei dati seguito; ragion per cui, la diffusione di visualizzazioni digitali del Patrimonio Culturale dovrebbe sempre essere accompagnata da informazioni chiare del processo critico tali da consentire ai fruitori, esperti e non, di comprendere e valutare tali visualizzazioni in base al contesto e agli scopi per le quali sono impiegate (Denard, 2016, p. 66). Medesime considerazioni si trovano anche rileggendo, in ottica BIM-oriented, la già citata Carta del Rilievo Architettonico (AA.VV., 2000) che, a distanza di venti anni, si dimostra ancora attuale nel sottolineare, ad esempio, il ruolo della «documentazione come supporto indispensabile per la tutela del Patrimonio Culturale». Riportando i principi su espressi nell'ambito specifico dei sistemi informativi (Brusaporci et al., 2013), si è dimostrato che il *database* H-BIM è congeniale alla raccolta del materiale a partire dal quale si è potuto giungere ad una determinata configurazione del modello virtuale: fonti bibliografiche e di archivio, tipologia e origine dei dati di rilevamento, risultati di indagini o analisi specialistiche. Ciò nonostante, ben più ostiche, sono state sin dalle prime fasi della ricerca le riflessioni sulla possibilità, o meglio, sulla difficoltà di esplicitare in ambiente H-BIM la più importante (ma impalpabile) fra le innumerevoli informazioni che un BIM-object può portare con sé: il livello di affidabilità del processo di interpretazione critica alla base della sua stessa creazione; i fattori che possono influenzare la trasparenza del modello e l'affidabilità dei processi sono molteplici e quasi mai misurabili in modo empirico per loro stessa natura.

4.3.2 L'inadeguatezza in ambito H-BIM dei parametri standard

Dato che, nei prossimi anni, il modello BIM in sé (*merged model*) rivestirà un ruolo sempre più importante dal punto di vista operativo e contrattuale nei processi di progettazione, validazione e realizzazione dell'architettura, il quadro normativo a livello internazionale è in continua evoluzione così come le diverse iniziative per la creazione di standard internazionali di riferimento. Se nei capitoli introduttivi della ricerca si è già fatto cenno alle più significative tappe di questa evoluzione (tecnologica e normativa), è d'obbligo soffermarsi con una breve parentesi sulle attuali classificazioni dei più noti parametri standard in ambiente BIM, quali il Livello di Sviluppo (*Level of Development*) e il Livello di Dettaglio (*Level of Detail*), entrambi contraddistinti con il medesimo acronimo LOD e riconosciuti a livello internazionale. In estrema sintesi, il primo parametro rappresenta una "misura" dell'affidabilità delle informazioni di tipo tecnico ed economico contenute in un modello BIM mentre, il secondo parametro, distingue più semplicemente il dettaglio grafico con cui un modello, o un oggetto digitale del modello, può essere visualizzato e rappresentato in fase di *output*, in una scala crescente che va da G1 a G3.

Ad oggi, la classificazione dei *Level of Development* più nota è quella contenuta nelle BIM *Guidelines* del New York City Department of Design and Construction¹², nella quale il livello di sviluppo degli oggetti digitali del modello cresce dal LOD 100 al LOD 500 (fig. 4.8); è bene evidenziare che tali cifre sono del tutto slegate dalle scale canoniche di rappresentazione del progetto e che, la classificazione proposta, si basa su parametri di giudizio condivisi ma di carattere generale. In sintesi, nella suddetta classificazione, si indica con LOD 100 un elemento modellato in maniera concettuale, ovvero costituito da un volume o una massa semplificati, e al quale sono attribuite informazioni minime; se nel LOD 100 ci si trova nella cosiddetta fase meta-progettuale o di "gestione delle masse", il LOD 200 può indicare il livello di sviluppo tipico di un progetto preliminare nel quale, pertanto, gli elementi hanno una definizione semantica (relativa alla tipologia di appar-

tenenza) e una conformazione geometrica approssimata ma definita. Alla scala del LOD 300, invece, il livello di sviluppo dell'oggetto digitale deve essere ben definito sia dal punto di vista geometrico (stratigrafie, forma, posizione nello spazio) che in merito alle ulteriori informazioni attribuite (tipologia dei materiali, collocazione temporale) nell'ottica di quello che può considerarsi già un passo oltre un progetto definitivo; analisi interdisciplinari di vario tipo sono già possibili a questo livello ma è al LOD 400 che si giunge ad un grado di dettaglio geometrico ed informativo ancor più accurato, tipico di un progetto esecutivo o costruttivo, nel quale gli aspetti computazionali, prestazionali e realizzativi dovranno essere definiti. La classificazione proposta dalle BIM Guidelines di New York (fig. 4.8) si chiude pertanto con il LOD 500 nel quale, in un certo senso, la simulazione si confronta con il momento effettivo della costruzione; gli elementi del modello dovranno infatti essere talmente definiti a livello informativo che per gli stessi si potranno programmare, non solo la fornitura e posa in opera, ma anche tutte le attività connesse alla gestione e manutenzione del bene architettonico.

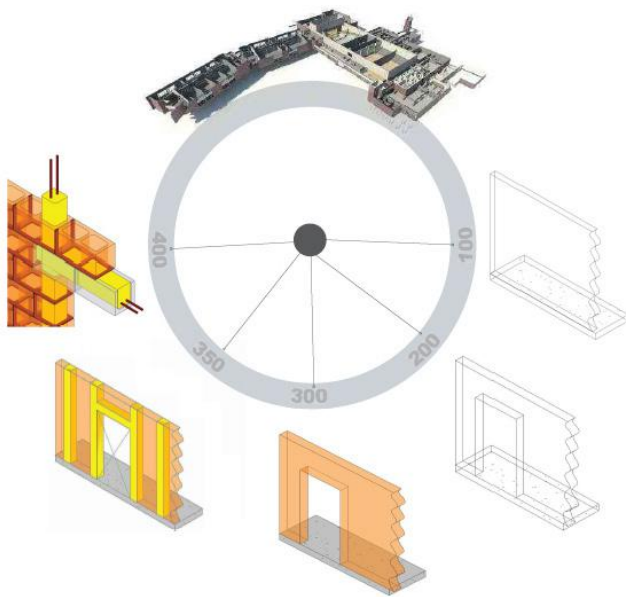


Fig. 4.8 – La classificazione statunitense del LOD (Level of Development) in uno schema grafico tratto dal web.

Ciò detto, è chiaro quanto le suddette classificazioni, sviluppate non a caso in ambiente anglosassone, siano riferite principalmente al mondo dell'edilizia e delle costruzioni *ex novo*, e siano difficili da tradurre nel caso dell'elaborazione di modelli BIM del patrimonio architettonico esistente, a maggior ragione se di interesse storico-culturale. Alla luce di queste considerazioni, perseguendo il medesimo obiettivo iniziale, si è ritenuto più opportuno fare riferimento alla più recente classificazione dei LOD (intesi come Livello di Sviluppo degli Oggetti Digitali) così come delineata in ambito italiano dalla norma UNI 11337, emanata nel 2017; non a caso, una breve parentesi sui principi della norma suddetta è già stata delineata nei capitoli introduttivi della ricerca, con particolare riferimento alla definizione di quelli che la norma considera i “LOD per il restauro”. In sintesi, nella norma UNI 11337, il LOD di un oggetto digitale viene considerato come risultato della combinazione del livello di sviluppo geometrico (LOG *Level of Geometry*) e del livello di sviluppo informativo (LOI *Level of Information*); la classificazione dei LOD, esplicitata nella parte quarta della norma, si basa su una scala crescente da A a G:

- LOD A Oggetto digitale simbolico;
- LOD B Oggetto digitale generico;
- LOD C Oggetto digitale definito;
- LOD D Oggetto digitale dettagliato;
- LOD E Oggetto digitale specifico;
- LOD F Oggetto digitale eseguito;
- LOD G Oggetto digitale aggiornato.

Delineata per diversi ambiti di applicazione (architettura, strutture, impianti, ...) e per diverse tipologie di oggetti (muratura, facciate continue, terreno, macchine e attrezzature, ...), la classificazione dei LOD nella norma UNI 11337 è attenta e diverse esemplificazioni grafiche (fig. 4.9) ne chiariscono i criteri teorici. Se con il LOD A la norma UNI identifica un oggetto digitale simbolico, eventualmente anche rappresentato in 2D, nei successivi Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali, dal LOD B al LOD E, si può leggere la medesima progressione dell'accuratezza delle informazioni che da un meta-progetto (o studio di fattibilità), giunge al progetto esecutivo attraverso gli step convenzionali del progetto preliminare e definitivo.

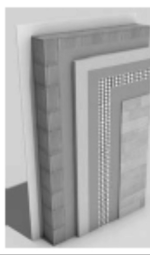
LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un simbolo 2D.	Geometria Solido generico per rappresentazione elemento architettonico verticale o pseudoverticale con forma, spessore e posizione approssimata.	Geometria Elemento architettonico (sistema e sottosistema) verticale o pseudoverticale rappresentato con ingombri calcolati secondo la normativa tecnica.	Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellate tutte le stratigrafie.	Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono incluse tutte le stratigrafie, i dati specifici del fornitore dei materiali e le finiture.	Geometria Oggetto parete.	Geometria Oggetto parete.
Oggetto Grafica 2D (linee e campiture 2D)	Oggetto Solido 3D	Oggetto Solido 3D strutturato	Oggetto Solidi 3D complesso	Oggetto Solidi 3D complesso	Oggetto Solidi parete completa	Oggetto Solidi parete
Caratteristiche • Posizionamento di massima	Caratteristiche • Semplici geometrie di ingombro	Caratteristiche • Spessore • Lunghezza • Larghezza • Volume • Definizione dei materiali	Caratteristiche • Definizione stratigrafie dettagliate • Spessori componenti • Struttura • Isolamento • Camera d'aria	Caratteristiche • Tipo finitura interna • Superficie finitura interna • Tipo finitura esterna • Superficie finitura esterna	Caratteristiche • Manuale di manutenzione • Classificazione (UNI 8290, CSI, etc.) • Certificazioni di prodotto	Caratteristiche • Data di manutenzione

Fig. 4.9 – Schema con esemplificazione grafica della classificazione dei LOD (Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali) per gli oggetti digitali tipici dell’ambito architettonico proposto dalla norma UNI 11337:2017.

Maggiore attenzione, invece, la si può dedicare agli ultimi due gradini della scala, il LOD F e il LOD G. Il primo è relativo al cosiddetto *as-built*, ovvero alla modellazione geometrica e informativa di quanto effettivamente realizzato (compresi tutti gli eventuali aggiornamenti o le varianti intervenute in corso d’opera) e verificato sul posto; a questo livello, le informazioni relative agli oggetti digitali sono molto dettagliate e specifiche dato che, in un processo virtuoso, anche attraverso il *database* BIM dovrebbe essere garantita la rispondenza dell’opera al progetto autorizzato e alle diverse norme, e dovrebbe essere possibile pianificare tutti gli interventi manutentivi nel tempo. Con il LOD G, in conclusione, la norma UNI identifica la modellazione specifica di un oggetto digitale in una fase aggiornata rispetto ad un precedente stato di fatto, ovvero in considerazione delle modifiche subite successivamente a determinati interventi sull’elemento nel suo stesso ciclo di vita. In questo senso, il LOD G può intendersi anche

come la modellazione dello stato “storicizzato” di un determinato oggetto digitale, in considerazione ad esempio delle modificazioni da questo subite e dovute a fenomeni di degrado della materia; ragion per cui, la norma invita a descrivere all’interno dell’ambiente BIM lo stato di conservazione del manufatto. Sebbene da più parti, i LOD F e G della norma UNI 11337:2017 siano stati battezzati come i Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali per il restauro, allo stato attuale non si può certo dire che nella norma siano state prese in considerazione tutte quelle condizioni che possano garantire il rigore scientifico necessario ad un processo di conoscenza (rilievo) e di conservazione poi (restauro) di un manufatto esistente, specie se di interesse culturale. Riportando tali definizioni allo specifico ambito di interesse della ricerca, la modellazione per oggetti digitali BIM di un manufatto architettonico esistente dovrebbe necessariamente confrontarsi con l’accettazione di una inevitabile

semplificazione geometrica e, soprattutto, con la dichiarazione preventiva del grado di affidabilità del modello in termini di accuratezza geometrica e rispondenza semantica tra i dati acquisiti e il prodotto della loro interpretazione critica e soggettiva. Queste premesse potranno garantire la validità e l'efficacia del metodo BIM anche nei processi di elaborazione critica dei dati, di rilievo o emersi nello svolgersi del cantiere, nello studio e nella catalogazione dei fenomeni di degrado della materia, così come nel conseguente rimando a progetti di conservazione (Fiorani et al., 2017) basati su interventi specifici di restauro.

Tutto ciò premesso, ed anche grazie all'esperienza di applicazione sul caso studio dell'opera di Michelucci, si è andata rafforzando sempre più la convinzione iniziale della necessità di sviluppare e codificare a livello operativo un nuovo parametro (Nicastro, 2016, pp. 170-172), ovvero un "gradiente di affidabilità" che, a mo' di attributo tra i dati estrinseci¹³ del modello, possa essere assegnato in ambiente BIM ai diversi oggetti digitali del modello virtuale informativo di un manufatto architettonico esistente, a garanzia del rigore scientifico, dell'integrità intellettuale e dei requisiti di trasparenza necessari nei processi di conoscenza del Patrimonio Culturale.

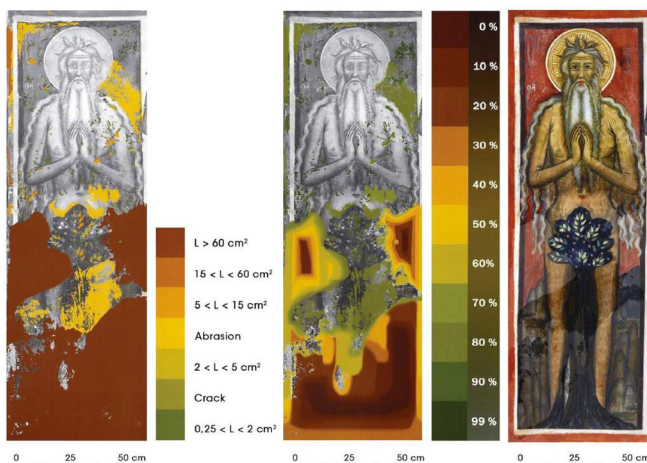


Fig. 4.10 – Esempio di “restauro virtuale” di un’opera pittorica elaborato in digitale attraverso l’analisi quantitativa delle lacune e l’esplicitazione del livello di attendibilità (*reliability*) delle integrazioni ipotizzate nella ricerca di tesi di Maida Leo presso l’Accademia di Belle Arti di Lecce, corso di Conservazione e Restauro.

4.3.3 L’introduzione del *Level of Reliability* nell’applicazione del BIM al patrimonio esistente

Mossi da tale ambizioso obiettivo, coniugando le riflessioni di natura più teorica con gli aspetti metodologici e operativi testati nella fase di applicazione del metodo BIM al caso studio, la ricerca si è pertanto concentrata sulla codifica di un possibile *set* di parametri di giudizio, condivisibili dalla comunità scientifica, per una classificazione del suddetto gradiente di affidabilità, ovvero del *Level of Reliability*, di un oggetto digitale o di un modello informativo, nell’ambito delle applicazioni del BIM al Patrimonio Culturale. Una breve parentesi si rende a questo punto necessaria sulla scelta e sulle accezioni del termine “*reliability*” che, nella già citata Carta di Londra (AA. VV., 2016), viene utilizzato in merito alle visualizzazioni digitali del Patrimonio Culturale ed è tradotto in lingua italiana proprio con il termine affidabilità; nel contesto delle discipline che la Carta di Siviglia ha poi battezzato come “archeologia virtuale”, nonché nell’ambito del “restauro virtuale”, la questione della *reliability* (Niccolucci et. al., 2010, p. 28-35) e, in particolare, dell’attendibilità delle visualizzazioni *computer-based* è stata infatti molto dibattuta. Data la sempre più diffusa applicazione delle tecnologie ICT nella ricerca, la comunità accademica si è interrogata negli ultimi anni sulla questione della *reliability*, ad esempio in merito all’avanzamento di ipotesi ricostruttive di manufatti mai realizzati o di beni archeologici, sulla base dello studio delle documentazioni raccolte; la complessità di tali modelli, nonché la loro verosimiglianza ormai sbalorditiva, possono infatti distogliere l’attenzione del fruitore comune o esperto dall’affidabilità dell’interpretazione della ricostruzione (Niccolucci et. al., 2010, p. 28). Nell’ambito della simulazione dei possibili risultati di restauro virtuale su beni del Patrimonio Culturale, particolarmente interessanti sono le analisi del “livello di attendibilità” delle integrazioni virtuali delle lacune nei processi di restauro virtuale di opere pittoriche (fig. 4.10), effettuate a partire dall’analisi quantitativa delle mancanze nell’ottica di seguire un processo il più rigoroso e trasparente possibile per l’avanzamento di ipotesi di reintegrazione dell’immagine. Con accezioni diverse, ma sempre connesse all’affida-

bilità dei risultati e alla trasparenza dei processi, è stato interessante guardare a come il termine *reliability* è utilizzato anche in altri settori disciplinari, quali ad esempio la Psicometria¹⁴ o l'Ingegneria Informatica; nell'ambito delle Scienze Statistiche, in particolare, con *reliability* si intende la coerenza globale delle misurazioni relative ad un evento, da considerarsi alta qualora, sotto condizioni costanti, tali misurazioni producano risultati simili. In estrema sintesi, premesso che le misurazioni non sono mai perfettamente coerenti, in Statistica sono state elaborate delle vere e proprie teorie dell'affidabilità dei *test* per stimare gli effetti di incoerenza sull'accuratezza delle misure; le variazioni di una misura ripetuta, possono infatti essere dovute a diverse ragioni quali eventi occasionali o non sistematici, incongruenze sistematiche, o variazioni effettive dell'oggetto di studio. L'affidabilità, inoltre, non è legata solamente alle proprietà di uno strumento, nè al solo approccio di misurazione, bensì anche al processo di elaborazione critica dei dati, ovvero al modo in cui i dati raccolti vengono poi gestiti. Inevitabilmente, il concetto di *reliability*, inteso come affidabilità della misurazione, è connesso al concetto di validità; ancora nell'ambito della Scienze Statistiche, si può affermare che l'affidabilità non implica la validità, ovvero che una misura affidabile (cioè che misura qualcosa in modo costante) non è necessariamente valida. Se pertanto l'affidabilità non implica automaticamente la validità, è pur vero che l'affidabilità è condizione necessaria per la validità complessiva di una misurazione o di un test: una misurazione che non è perfettamente affidabile non può essere perfettamente valida. Sebbene queste ultime riflessioni riguardino altri ambiti di ricerca, e meriterebbero ben altro approfondimento teorico, la loro influenza nel percorso di definizione del *Level of Reliability* non è stata irrilevante; certamente, però, maggiore attenzione è stata prestata al dibattito già citato sul tema dell'affidabilità e della trasparenza nell'ambito dell'archeologia virtuale. A tal proposito, infatti, è doveroso ricordare che una procedura scientifica per la classificazione tramite valori numerici del grado di affidabilità (*degree of reliability*) dei modelli nell'ambito dell'archeologia virtuale è stata già avanzata da F. Niccolucci e S. Hermon. In estrema sintesi, i due studiosi hanno proposto

una valutazione numerica della *reliability* di un modello virtuale, inteso come aggregazione ragionata di sottomodelli (fig. 4.11), basata sulla cosiddetta “logica sfumata” o *fuzzy logic*¹⁵, rifiutando un approccio di tipo probabilistico; il grado di affidabilità può variare così tra i valori di 0 (falso, totalmente non affidabile) e di 1 (vero, assolutamente affidabile), compresi tutti i valori intermedi fra questi due estremi di valutazione (Niccolucci et. al., 2010, p. 30). Oltre che per la valutazione numerica dell'affidabilità, sono interessanti le considerazioni dei due studiosi sulle specificità dei processi di elaborazione di modelli nell'ambito della ricostruzione virtuale archeologica¹⁶. Tutto ciò premesso, è ancora una volta chiaro il perché l'ambito disciplinare del Disegno non può non confrontarsi con tali riflessioni, trasponendole ai processi di conoscenza dell'ambiente costruito (Brusaporci, 2017, pp. 71-72).

Tornando all'ambito specifico dei processi HBIM, ci si è pertanto soffermati sull'individuazione dei fattori (e quindi dei parametri di giudizio) che in misura maggiore o minore possono influire sulla *reliability* del processo di definizione di un qualsivoglia oggetto digitale in ambiente H-BIM. Al fine di giungere ad una sorta di “punteggio” o, meglio, ad una valutazione numerica di sintesi che possa rappresentare il livello di coerenza globale del processo di definizione di un oggetto digitale, il *Level of Reliability* dovrà essere il risultato di una media ponderata tra fattori differenti, più o meno influenti nel processo, anche a partire dalla finalità principale per cui si è scelto di elaborare un modello informativo di tipo BIM del manufatto architettonico in esame; proprio in base alle finalità del rilevamento che ci si prefigge, il livello di affidabilità del modello, o di specifici oggetti digitali che lo costituiscono, potrà essere stabilito a priori, ad esempio fra gli obiettivi della fase del progetto di rilievo. Inoltre, avendo più volte definito “multiscalarari” e “multidisciplinari” i *database* BIM, è normale che nella costruzione di un modello potranno convivere oggetti digitali aventi differenti *Level of Reliability*, purché il parametro sia chiaramente esplicitato tra gli attributi dello specifico BIM-object e visibile in caso di *querying* del *database* a tutte le diverse figure coinvolte nel processo di conoscenza e, più in generale, alla comunità scientifica che potrà vagliare il “prodotto”.

4.3.4 La codifica di parametri condivisibili per una possibile misurazione del LOR

Se in ambiente H-BIM, qualsivoglia composizione di oggetti digitali è frutto sempre di un processo di analisi critica che porta alla modellazione geometrica e alla strutturazione semantica di un modello (anche attraverso la progettazione delle gerarchie degli elementi costituenti), allora la codifica del *Level of Reliability* 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. A tal proposito, è bene sottolineare che alcuni gruppi di ricerca (Chiabrando et al., 2017b, p. 173; Campi et al., 2017, p. 133) hanno già affrontato la questione dell'accuratezza dei modelli H-BIM (*level of accuracy*), intesa nell'accezione di precisione o, meglio, di rispondenza geometrica del modello parametrico al modello numerico (*points cloud, dense cloud*) della realtà; ben più rare sono invece le ricerche nelle quali sia stato affrontato il tema dell'affidabilità del modello dal punto di vista della corretta strutturazione dei contenuti semantici (Fiorani et al., 2017, p. 283) e, più in generale, della sua affidabilità scientifica (verificabile in

termini scientifici) e trasparenza filologica.

Come nell'ambito più generale del rilievo, l'affidabilità geometrica del modello informativo di un manufatto, per cui la validità del processo critico di elaborazione tridimensionale (dall'analisi alla modellazione effettiva), sono certamente condizionate in partenza dall'affidabilità dei dati acquisiti nel processo stesso di rilevamento (risorse, strumentazioni a disposizione, modalità di esecuzione delle misurazioni, ...). In ambiente H-BIM, per tutte le ragioni fin qui esposte, i fattori da considerare sono diversi e ancor più interrelati, fra questi:

- la possibilità o meno di “parametrizzare” la conformazione geometrica di un elemento o di una composizione di elementi, ovvero la possibilità o meno di riconoscere matrici geometriche o regole compositive¹⁷ deducibili più o meno chiaramente nello studio degli elementi architettonici del manufatto;
- la disponibilità o meno di fonti d'archivio relative al manufatto o a specifici elementi dello stesso, nonché la qualità e l'attendibilità di tali documenti d'archivio (compresi precedenti rilievi o elaborati originali di progetto);
- la possibilità o meno di analizzare contemporaneamente, per l'elaborazione di un medesimo oggetto digitale (sia esso un elemento di riferimento del modello o un BIM-object), differenti tipologie di dati acquisiti per una più certa traduzione degli stessi;
- la possibilità o meno di eseguire, direttamente nella piattaforma di BIM *authoring* o attraverso applicativi specifici, comparazioni tra i modelli numerici di partenza e il modello parametrico, per la determinazione delle deviazioni puntuali e medie, e la preventiva correzione di errori;
- la possibilità o meno di indicare nel *database* la fonte, l'origine, la tipologia, le strumentazioni utilizzate, nonché le più diverse informazioni relative a tutti i processi di acquisizione (rilevamenti diretti e indiretti, ricerche bibliografiche e d'archivio) ed elaborazione dati.

Se è chiaro che l'affidabilità geometrica di un modello è legata anche alle caratteristiche morfologiche intrinseche del manufatto di interesse, i fattori che determinano invece la rispondenza ontologica degli oggetti digitali *semantic-aware* alla realtà di studio sono ben più complessi, sia perché derivanti da operazioni di analisi critica ancor più

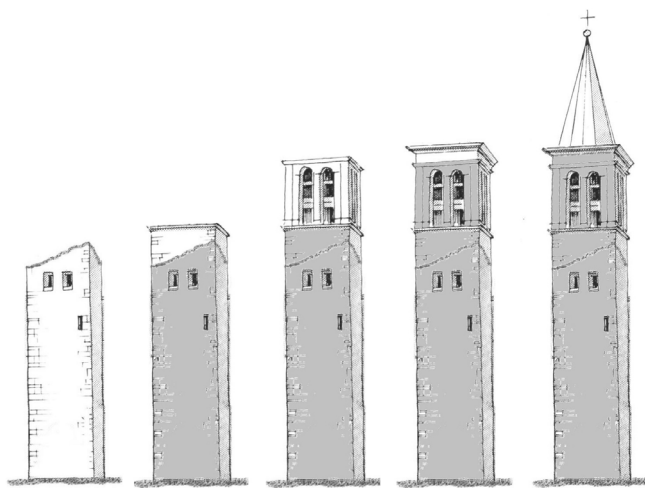


Fig. 4.11 – Elaborazione grafica delle immagini esplicative riportate da Niccolucci ed Hermon per spiegare l'evoluzione del processo di ricostruzione di un bene archeologico e la valutazione dei gradi di affidabilità dei modelli derivanti (Niccolucci et al., 2010, p. 33).

soggettive, sia perché maggiormente condizionati dall'an-nosa questione del "superamento" della superficie rilevata a cui i sistemi BIM costringono. La progettazione delle gerarchie di appartenenza e, più in generale, la strutturazione semantica del modello informativo, parallelamente alla generazione del modello tridimensionale geometrico, rappresentano pertanto un "sistema cognitivo" (Apollonio et al., 2013, 43-48), un processo cioè che può definirsi "ermeneutico" e che favorisce lo studio della realtà oltre la sua forma fisica contingente (Campi et al., 2017, p.133). Lavorare in ambiente BIM "obbliga" infatti l'operatore a stabilire l'articolazione tettonica degli oggetti digitali componenti il modello virtuale, oltre l'apparenza delle superfici visibili della materia, esistente o di progetto. Ma se ciò rappresenta un valore aggiunto, in particolare nel campo delle nuove costruzioni, è pur vero che, nonostante gli avanzamenti della ricerca accademica, permangono molteplici criticità laddove si debba restituire la conformazione di un manufatto architettonico "storicizzato" o complesso dal punto di vista morfologico; in tal senso, i parametri di giudizio secondo i quali poter misurare la precisione¹⁸ di tale disegno digitale e l'affidabilità dei modelli sono ben più complessi. In estrema sintesi, per il controllo del livello di idealizzazione (astrazione e semplificazione) nella strutturazione semantica del modello e nella definizione delle componenti materiche non direttamente visibili del manufatto, non si potrà non tenere conto:

- della disponibilità o meno di dati d'archivio o bibliografici relativi alle fasi di evoluzione della fabbrica o del cantiere, per una più corretta collocazione temporale degli elementi architettonici o funzionali;
- della disponibilità o meno di dati d'archivio relativi specificatamente alle tecniche costruttive adoperate o ai materiali impiegati nel manufatto, per una più corretta disamina e attribuzione semantica delle entità digitali;
- della disponibilità o meno di dati derivanti da specifiche indagini (distruttive e non) sul manufatto, per una più certa determinazione delle stratigrafie o di conformazioni specifiche di elementi architettonici o strutturali;
- della possibilità o meno di individuare le tecnologie costruttive o i materiali impiegati per analogia con manufatti coevi o simili;

• della possibilità o meno di determinare (in modo diretto o con analisi specialistiche) lo stato di conservazione dei materiali, a livello superficiale e strutturale, costituenti il manufatto, ovvero di evidenziare nell'ambiente di lavoro BIM i rapporti di dipendenza tra cause e fenomeni degenerativi;

• della possibilità o meno di eseguire delle verifiche sui modelli, attraverso il settaggio *ad hoc* delle regole degli applicativi specifici di *Model Checking* e *Code Checking*¹⁹. Se nelle premesse della ricerca si è dedicata attenzione alla norma UNI 11337:2017, e in particolare alla classificazione dei Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali da questa delineata, è perché la definizione dei livelli di affidabilità degli oggetti digitali in ambiente H-BIM potesse essere delineata all'interno dei principi del quadro normativo suddetto. Considerata infatti la relativa vaghezza, o meglio, la necessità di approfondimento delle indicazioni della norma sul tema del livello di sviluppo degli elementi BIM relativi al patrimonio culturale costruito (e agli interventi di restauro), si è scelto di inquadrare la classificazione del LOR *Level of Reliability* in continuità con quella dei Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali, approfondendo il già citato LOD G della norma. In sintesi, se il LOD G rappresenta lo stato "storicizzato" di un oggetto digitale o di un modello, si è pensato pertanto di esprimere il *Level of Reliability* in una scala numerica che va da 0 a 10 all'interno dei Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali G; per giungere a questa sorta di punteggio, frutto come già detto di una media ponderata tra fattori differenti, si è scelto di elaborare un diagramma, tramite un semplice foglio di calcolo. Il diagramma elaborato è da intendersi anche come una scheda informativa relativa all'elemento architettonico preso in esame e al corrispondente oggetto digitale (fig. 4.12), in questo senso, è di supporto anche nella scomposizione stessa del manufatto inevitabile nei processi H-BIM. Più in dettaglio, il diagramma è strutturato in modo che, per ogni oggetto digitale, l'operatore o il ricercatore possa prendere in esame i principali fattori influenti sulla *reliability*, riportati sulla sinistra per macro-argomenti; a seconda che determinate condizioni generali siano o meno soddisfatte, per ogni argomento si giunge ad un punteggio che varia da 0 a 2. La media aritmetica dei punteggi ottenuti

Scheda tipo per la determinazione del Level of Reliability degli Oggetti Digitali				(0 < LoR < 10)	
Oggetto Digitale :	Codice elemento	Famiglia / Tipologia	Descrizione		
	PA.01.EXT.60	Muro	Parete perimetrale prospetto N-E		
Caratteristiche geometriche intrinseche	✓ Forma libera o scultorea (non riconducibile a matrici geometriche)	– Traduzione geometrica simbolica	– 0	2	–
	✓ Forma semplice o composta (riconducibile a matrici geometriche)	✓ Traduzione geometrica parametrica (per elementi tipo)	– 1		
	✓	✓ Traduzione geometrica puntuale (per elementi specifici)	– 2		
Dati di rilievo	✓ Dati non disponibili (rilievo non effettuato o non attendibile)	– Traduzione geometrica simbolica	– 0	2	–
	✓	✓ Traduzione geometrica generica (da rilievo non integrato)	– 1		
	✓	✓ Traduzione geometrica specifica (da rilievo integrato)	– 2		
Indagini specialistiche	✓ Dati non disponibili (indagini non effettuate o non attendibili)	– Definizione informativa ipotetica	– 0	0	–
	✓	✓ Definizione informativa generica (da indagini a campione)	– 1		
	✓	✓ Definizione informativa specifica (da indagini dirette o diffuse)	– 2		
Materiale / Fonti d'archivio	✓ Dati non disponibili (ricerche non effettuate o fonti non attendibili)	– Definizione informativa ipotetica (a livello storico o semantico)	– 0	1	–
	✓	✓ Definizione informativa generica (a livello storico o semantico)	– 1		
	✓	✓ Definizione informativa specifica (a livello storico o semantico)	– 2		
Caratteristiche fisiche	✓ Indicazione generica delle caratteristiche dei materiali	– Definizione informativa ipotetica (o per analogia)	– 0	2	–
	✓	✓ Definizione informativa generica (o superficiale)	– 1		
	✓	✓ Definizione informativa specifica (o stratigrafica)	– 2		
Definizione tecnologica / articolazione tettonica	✓ Conformazione incerta o non definibile	– Definizione / articolazione simbolica o assente	– 0	1	–
	✓	✓ Definizione / articolazione generica (per analogia o per conformazione tipo)	– 1		
	✓	✓ Definizione / articolazione specifica (verificata o per elementi specifici)	– 2		
Stato di conservazione	✓ Dati non presenti nel database (analisi non effettuate)	– Stato conservativo non definito	– 0	0	–
	✓	✓ Stato conservativo descritto per mezzo collegamenti esterni	– 1		
	✓	✓ Stato conservativo descritto per mezzo di oggetti digitali	– 2		
Verifiche di rispondenza e/o congruenza	✓ Verifiche non effettuate o in corso	– Definizione geometrica non verificata	– 0	1	–
	✓	✓ Definizione geometrica verificata (deviazioni / incongruenze poco rilevanti)	– 1		
	✓	✓ Definizione geometrica validata (deviazioni / incongruenze non rilevanti)	– 2		
Indicazioni operative o di approfondimento	✓ Indicazioni non fornite nel database	– Indicazioni assenti (bassa probabilità di approfondimento LOR)	– 0	2	–
	✓	✓ Indicazioni generiche (discreta probabilità di approfondimento LOR)	– 1		
	✓	✓ Indicazioni specifiche (buona probabilità di approfondimento LOR)	– 2		
				Valore Medio	
				1,22	
				Level of Reliability *	
				6	
* Il Valore Medio è moltiplicato per un fattore 5 per avere la corrispondenza in una scala da 0 a 10					

Fig. 4.12 – Esempio di scheda elaborata dall'autore per la determinazione in scala numerica del Level of Reliability degli Oggetti Digitali.

relativamente ai nove macro-argomenti finora presi in esame nella scheda viene automaticamente determinata dal foglio di calcolo che, inoltre, tramuta tale valore in una scala di più facile lettura che va 0 a 10 (con una semplice moltiplicazione per un fattore 5). Il valore finale così ottenuto andrà pertanto esplicitato nel modello informativo, a corredo del LOD G della norma UNI 11337:2017; la classificazione cresce dal LOR 0 degli oggetti digitali “simbolici” il cui livello di affidabilità è basso, fino al LOR 10 che esprime il più alto *Level of Reliability* per gli elementi esaminati. Per rendere più comprensibile tale procedimento, relativamente semplice, si riporta di seguito a mo’ di esempio la scheda compilata per la determinazione del *Level of Reliability* (fig. 4.12) di uno specifico oggetto digitale analizzato durante l’esperienza sul caso studio, ovvero la parete perimetrale del prospetto di ingresso dell’Istituto di Mineralogia e Geologia; “percorrendo” il diagramma, si è giunti ad un valore di 1,22 nella media aritmetica dei valori compresi tra 0 e 2 che esprimono la soddisfazione o meno dei parametri predeterminati. Trasformando tale valore aritmetico in uno di più facile lettura compreso nella scala tra 0 e 10, l’oggetto digitale suddetto è stato classificato con un LOR 6 che esprime pertanto una sufficiente affidabilità in considerazione del processo di elaborazione critica attuato sui dati a disposizione e dei risultati raggiunti nella modellazione geometrica ed informativa dell’elemento.

All’interno del *workflow* che la ricerca ha cercato di delineare, sebbene meritevole di ulteriori approfondimenti, si è certi che l’attribuzione del *Level of Reliability* agli oggetti digitali del modello con un procedimento condiviso potrà essere accolta positivamente, o comunque essere motivo di riflessione, dalla comunità accademica impegnata nelle ricerche in ambito HBIM. La codifica di tale parametro, pur sempre soggettivo ma frutto di una catena di ragionamenti esplicitati da parte degli studiosi e basati su prove e deduzioni, potrebbe infatti diventare un’operazione estremamente utile, sia nella fase operativa che nella fase di *output*, per accrescere la validità scientifica e la trasparenza nell’applicazione del metodo BIM nei processi di conoscenza, comunicazione e gestione del Patrimonio Culturale costruito.

4.3.5 Il *Level of Reliability* e la gradualità dei processi di conoscenza “profonda”

Nonostante l’interesse e l’evoluzione continua della ricerca accademica sui processi di *Historical Building Information Modeling*, le perplessità della comunità scientifica circa il “salto” che, dai dati di rilevamento e d’archivio, si compie per giungere al modello parametrico e informativo di una determinata realtà di studio, sono ancora legittime; ragion per cui, proprio a garanzia del rigore scientifico necessario nei processi H-BIM sul patrimonio costruito, nella ricerca è stata “concretizzata” l’idea iniziale (Nicastrò, 2016, pp. 170-172) di introdurre la classificazione di un nuovo possibile parametro (*Level of Reliability*) per una misura dell’affidabilità dei processi e, di conseguenza, dei risultati. Se in un modello virtuale potranno convivere oggetti digitali caratterizzati da differenti livelli di affidabilità, esplicitati in modo chiaro e condiviso nel *database*, l’attribuzione del *Level of Reliability* potrà forse rappresentare quella necessaria premessa metodologica che può fare dei sistemi di *Building Information Modeling* uno strumento molto valido nella processualità del conoscere, favorendo, supportando e implementando quei meccanismi consolidati che consentono la graduale conoscenza di un manufatto architettonico, anche di interesse culturale, e l’eventuale progettazione degli interventi volti alla sua conservazione e valorizzazione.

In merito alla “gradualità” dei processi in ambiente H-BIM, intesa come possibilità di approfondimento nel tempo delle conoscenze dirette e delle valutazioni critiche su un qualsivoglia manufatto, è bene precisare che il livello di affidabilità degli oggetti digitali non è da intendersi come un attributo immutabile nello svolgersi del processo, bensì come un giudizio o una misura che può regredire o, preferibilmente, progredire nel tempo. Anche con l’ausilio delle schede di determinazione del LOR degli oggetti digitali (fig. 4.12), la cui struttura è stata precedentemente illustrata, le informazioni riversate nel *database* potranno costantemente supportare le valutazioni critiche sui dati eterogenei acquisiti nel tempo così da consentire, e soprattutto “testimoniare”, processi interdisciplinari virtuosi, trasparenti e più consapevoli su realtà di studio no-

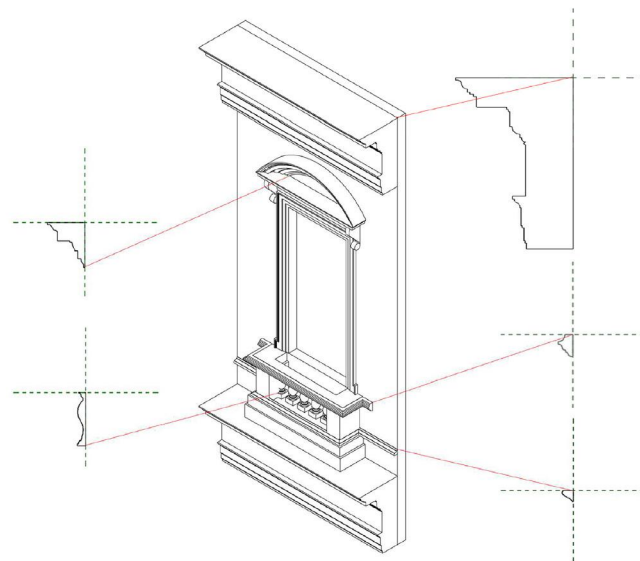


Fig. 4.13 – Studio in ambiente BIM di una porzione della facciata di palazzo Barbaran da Porto a Vicenza (Andrea Palladio, seconda metà del Cinquecento) e dei profili di sezione delle modanature ricorrenti (Apollonio et al., 2012, p. 53).

toriamente complesse. Volendo con un semplice esempio chiarire quanto appena affermato, si pensi ancora al caso più comune di una parete perimetrale, identificata nella fase di strutturazione semantica e di progettazione delle gerarchie, e della quale sia possibile determinare in prima battuta il profilo interno ed esterno (pertanto lo spessore) e la tipologia dei soli materiali di rivestimento; in assenza di ulteriori analisi diagnostiche, e con i soli dati suddetti a disposizione, nella costruzione del corrispondente BIM-object la stratigrafia della parete potrà essere solo “ipotizzata” o, meglio, definita a livello generico o per analogia (con altre parti del manufatto o con edifici coevi o simili). Anche la definizione dei vincoli agli elementi di riferimento e di altri attributi potrà avvenire in base a conoscenze e capacità critiche dell’operatore; questa operazione critica di “idealizzazione” determinerà, per quello specifico BIM-object, l’attribuzione di un *Level of Reliability*, relativamente basso, nella scala da 0 a 10 precedentemente definita. Chiaramente, al variare dello stato delle conoscenze dirette o indirette sul determinato elemento architettonico, ovvero qualora possano essere effettuate indagini diagno-

stiche specifiche o possano essere effettuati rilevamenti di dettaglio per l’acquisizione di ulteriori dati, l’iniziale livello di astrazione e semplificazione della realtà contingente potrà diminuire e, di conseguenza, il *Level of Reliability* dell’oggetto digitale potrà progredire nella suddetta scala. In un processo virtuoso che si delinea con sempre più forza anche nell’ambito delle attività sul Patrimonio Culturale costruito, senza che sia necessario ripetere in modo pedissequo le correzioni e gli aggiornamenti necessari, su più tipologie di documenti e modelli utilizzati dai diversi attori del processo, sarà possibile agire in un unico ambiente di lavoro, un *database* relazionale utile dalle fasi iniziali di approccio al manufatto a quella della programmazione degli interventi sullo stesso.

Tornando più semplicemente anche ai meccanismi operativi di traduzione della realtà in ambiente H-BIM, si pensi alla possibilità di “affinare” nel tempo le variabili di natura geometrica degli oggetti digitali, ad esempio dei profili di estrusione degli elementi, o delle modanature di elementi tipici dell’architettura classica (fig. 4.13) o dei profili di “montanti” e “traversi” costituenti sistemi a griglia; si pen-

si inoltre alla possibilità di dettagliare in modo parametrico le stratigrafie e l'articolazione tettonica di determinati BIM-object complessi, o ancora di modificare la posizione assoluta o reciproca degli elementi di riferimento e degli oggetti digitali del modello, governando la complessità di quei rapporti di dipendenza coscientemente preimposti. Le operazioni su citate, seppur rappresentano casi esemplificativi semplici, sono volte tutte al graduale approfondimento della conoscenza del bene, ed è importante sottolineare che potranno avvenire sia internamente all'applicativo di BIM *authoring*, che esternamente allo stesso, ad esempio grazie all'aggiornamento automatico dei "collegamenti esterni" del *database* principale in seguito all'implementazione dei dati (geometrici o informativi) e delle valutazioni critiche da parte di altri componenti del *team* o di operatori specialistici.

Al fine di accrescere il livello di conoscenza generale del bene architettonico in esame, ovvero di raggiungere quella conoscenza che in letteratura è definita "profonda", nella determinazione del *Level of Reliability* influisce inoltre l'attribuzione o meno, agli oggetti digitali, di indicazioni operative puntuali, relative alla necessità di ulteriori indagini mensorie e diagnostiche, o di ricerche storico-critiche, bibliografiche e di archivio²⁰. Così operando, si aprono possibili scenari di sviluppo della ricerca per un "rinnovamento" delle metodologie consolidate di rilievo integrato e di intervento sul patrimonio attraverso l'uso di sistemi informativi, nell'ottica di costituire quelli che la Carta del Rilievo Architettonico (AA.VV., 2000) definiva "archivi operativi digitali". Come auspicato nel documento, «considerato che lo stesso manufatto è spesso oggetto di successive operazioni di rilevamento e documentazione, allo scopo di consentire la valutazione dei cambiamenti oltre che di evitare la ripetizione pedissequa di analoghe operazioni, è bene procedere alla costituzione di archivi specializzati per ciascuna delle tecniche di misurazione e documentazione utilizzate». In sintesi, si tratta di comprendere che, forse ancor più che nell'ambito della nuova realizzazione, favorire l'interdisciplinarietà e l'interoperabilità nei processi di conoscenza diretta e indiretta nonché di conservazione dovrebbe essere un obiettivo primario della comunità scientifica nell'ambito del Patrimonio Culturale.

Note

- 1 IPPOLITI, E., 2000. *Rilevare. Comprendere misurare rappresentare*. Roma: Edizioni Kappa, p. 23.
- 2 Con le dovute cautele, il riferimento è alla teoria cosiddetta del "caso per caso", elaborata da A. Annoni nell'ambito del Restauro dell'Architettura.
- 3 La definizione di "rilievo parametrico" cui si fa riferimento compare in uno degli articoli del numero "Le dimensioni del B.I.M." che la rivista digitale *Disegnarecon* ha dedicato al tema del BIM nel giugno 2016, più in dettaglio: PARIS, L., WAHBEH, W., 2016. Rilievo e rappresentazione delle geometrie parametriche per l'H-BIM / Survey and representation of the parametric geometries in HBIM. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016, pp. 12.1-12.9.
- 4 A livello professionale, si faccia riferimento al caso già citato del rilievo e del progetto di restauro del Sacro Militare di Redipuglia in provincia di Gorizia, presentato in occasione della prima edizione del workshop "3D Modeling e BIM: applicazioni e possibili futuri sviluppi", svoltosi nel 2016 nella Facoltà di Architettura della Sapienza, Università di Roma.
- 5 FIORANI, D., ACIERNO, M., 2017. Conservation process model (CPM): a twofold scientific research scope in the information modelling for Cultural Heritage. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-5/W1, pp. 283-290.
- 6 Tra gli applicativi dedicati a queste funzioni di controllo è certamente da citare *Solibri Model Checker*, sviluppato dalla società finlandese *Solibri* che è stata fra le prime e le più impegnate nella ricerca per l'automazione dei controlli sui modelli informativi.
- 7 L'estensione .obj (*object*) rappresenta un formato di *file* tra i più compatibili nell'ambito dei *software* per la modellazione tridimensionale; sviluppato dalla *Wavefront Technologies*, il formato *file* .obj supporta la geometria di ogni volume o superficie indipendentemente che questi siano oggetti primitivi, poligonali, NURBS o *Subdivision Surface*, mantenendo inoltre le coordinate delle *textures* UV.
- 8 La Carta stabiliva dei principi generali per l'utilizzo dei metodi di visualizzazione digitale nella ricerca e diffusione del Patrimonio Culturale in ambito accademico, educativo e commerciale, inclusa pertanto la cosiddetta industria dell'intrattenimento, ma esclusi gli ambiti del *design*, della moda e dell'arte contemporanea; l'obiettivo principale era pertanto quello di "riconciliare" le visualizzazioni *computer-based* del Patrimonio Culturale con le norme professionali di ricerca e i sistemi consolidati di argomentazione e prova.
- 9 «while computer-based visualizations methods are now employed in a wide range of contexts to assist in the research, communication and preservation of cultural heritage, a set of principles is needed that will ensure that digital heritage visualization

is, and is seen to be, at least as intellectually and technically rigorous as longer established cultural heritage research and communication methods. At the same time, such principles must reflect the distinctive properties of computer-based visualization technologies and methods».

- 10 «the outcomes of research that include computer-based visualization should accurately convey to users the status of the knowledge that they represent, such as distinctions between evidence and hypothesis, and between different levels of probability».
- 11 GABELLONE, F., 2012. La trasparenza scientifica in archeologia virtuale: una lettura critica al principio n.7 della carta di Siviglia. *SCIRES-IT SCientific RESearch and Information Technology*. Volume 2, Issue 2, 2012, pp. 99-123.
- 12 Visualizzare nel dettaglio le linee guida BIM emanate dall'ente newyorkese è possibile attraverso al seguente indirizzo web: <http://www.nyc.gov/html/dcc/downloads/pdf/DDC-BIM-Guidelines.pdf>
- 13 Ci si riferisce ancora una volta alle più recenti riflessioni di Stefano Brusaporci il quale, discutendo delle modalità di assicurare la trasparenza del modello informativo, distingue i *metadata* dai *paradata* e, più in dettaglio, i *paradata* estrinseci del modello da quelli intrinseci. BRUSAPORCI, S., 2017. The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage. In IPPOLITO, A., *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archeological Heritage*. Hershey (PA): IGI Global, pp. 68-96.
- 14 Si intende per Psicometria l'insieme delle indagini psicologiche per la valutazione quantitativa dei comportamenti dei soggetti analizzati anche attraverso la somministrazione di specifici *test*.
- 15 Nella teoria dei sistemi, la logica *fuzzy* è un tipo di rappresentazione che cerca di riprodurre, su sistemi a logica binaria, il modo di ragionare tipico della mente umana. Ideata verso la fine degli anni Settanta da L.A. Zadeh, della University of California a Berkeley, la logica *fuzzy* tiene in considerazione che il ragionamento umano ammette la possibilità di passare da un concetto ad un altro gradualmente, cosa non possibile nella logica booleana. Infatti, in un insieme normale, un oggetto o appartiene o non appartiene all'insieme; la logica *fuzzy* si basa su una definizione di insieme in cui il grado di appartenenza di un elemento all'insieme può assumere tutti i valori compresi nell'intervallo tra 0 e 1. In sintesi, ai concetti logici di vero e falso della logica convenzionale si sostituisce, nella logica *fuzzy*, un grado di verità che presuppone allo stesso tempo un certo grado di falsità; i procedimenti della logica *fuzzy* hanno trovato applicazione in svariati ambiti e, nel caso specifico, sono stati mutuati da F. Niccolucci e S. Hermon per la valutazione numerica della *reliability* dei modelli virtuali, considerati nel loro processo di elaborazione. Per comprendere la procedura di valutazione delineata, si faccia riferimento agli esempi riportati in: NICCOLUCCI, F., HERMON, S., 2010. A Fuzzy Logic Approach to Reliability in Archaeological Virtual Reconstruction. In NICCOLUCCI, F., HERMON, S. (eds), *Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past. Proceedings of CAA2004*, Prato, 13-17 April 2004. Budapest: Archaeolingua, pp. 28-35.
- 16 Nell'elaborazione di un modello virtuale di un bene nell'ambito dell'archeologia virtuale, si parte spesso dalla modellazione degli elementi certi (ad esempio dalle rovine di un manufatto); a partire dallo studio delle fonti e, più in generale, degli elementi a disposizione, si procede poi alla modellazione di elementi non più esistenti, relativi ad una determinata fase storica del manufatto. Paradossalmente, più il modello viene "arricchito" di dettagli, rappresentati da sottomodelli tra loro connessi, più l'affidabilità globale del modello diminuisce sebbene lo stesso risulti più piacevole e realistico dal punto di vista della resa grafica. Niccolucci e Hermon distinguono inoltre l'affidabilità del modello di un elemento in sé (*absolute reliability*) dalla affidabilità relativa (*relative reliability*), ovvero dalla compatibilità del modello di un elemento rispetto al contesto in cui lo si inserisce, sia dal punto di vista della mutua posizione (geometrico) e dal punto di vista del contenuto semantico.
- 17 Si pensi ad esempio agli elementi dell'architettura antica e classica che, seppur caratterizzati da geometrie complesse, sono spesso rispondenti alle regole compositive degli ordini architettonici, così come descritti nei trattati; l'evidenza o meno di tali regole, nonché ovviamente la loro padronanza, può influire notevolmente sull'affidabilità della traduzione geometrica dell'elemento in esame. Si faccia riferimento a tal proposito al seguente articolo: APOLLONIO, F. I., GAIANI, M., ZHENG, S., 2012. BIM-Based Modeling and Data Enrichment of Classical Architectural Buildings. *SCIRES-IT SCientific RESearch and Information Technology*. Volume 2, Issue 2, 2012, pp. 41-62.
- 18 Si faccia nuovamente riferimento al concetto di "precisione" del Disegno così come espresso da Roberto De Rubertis in DE RUBERTIS, R., 1994. *Il disegno dell'architettura*. Roma: Carocci; nel caso specifico, si è voluto intendere per precisione dell'oggetto digitale, la sua rispondenza semantica più o meno alta alla realtà del manufatto in esame.
- 19 Gli applicativi per le attività di *Model Review* sui modelli informativi sono comunemente utilizzati in ambiente BIM per verificare la rispondenza dei progetti a specifiche norme di riferimento o per l'individuazione di errori progettuali intesi come interferenze (*clash detection*); la ricerca intende delineare uno scenario in cui, attraverso il settaggio specifico dei parametri di controllo di tali applicativi, sarà possibile effettuare sui modelli H-BIM verifiche semi-automatiche per evidenziare eventuali incongruenze e per l'ausilio nella determinazione del livello di affidabilità.
- 20 A tal proposito, si faccia riferimento in generale alle molteplici ricerche volte a definire delle strategie valide per collegare la diagnostica, ovvero l'analisi dei fenomeni degrado superficiale e strutturale, alla gestione del rilievo e del progetto di conservazione tramite sistemi BIM.

5. Conclusioni e scenari di sviluppo della ricerca

5.1 Verso modelli informativi “ibridi” per la trasparenza dei processi di conoscenza

Nella conduzione della ricerca sul caso studio dell’opera di Michelucci, il *database* BIM ha visto la compresenza al suo interno di modelli diversi tra loro, per tipologia e provenienza; al fine di creare un modello informativo composto di oggetti digitali parametrici e *semantic-aware*, infatti, hanno interagito in ambiente BIM vari dati informativi (1D), gli elaborati CAD di supporto (2D) relativi ai disegni presenti negli archivi dell’ufficio tecnico, il modello geometrico per punti nello spazio della battuta topografica, nonché i modelli numerici delle *nuvole di punti* acquisite. Sebbene nei processi H-BIM, per sfruttarne le potenzialità, l’obiettivo dovrebbe essere quello di cercare di tradurre in BIM-*object* la maggior parte degli elementi architettonici costituenti la realtà che ci si propone di descrivere, è possibile che in certi casi l’inevitabile semplificazione dovuta alla modellazione per oggetti non sia in linea con gli obiettivi della ricerca; in questo senso, basti pensare a manufatti complessi dal punto di vista morfologico (fra tutti, quelli di natura archeologica), o il cui apparato decorativo presenta geometrie di tipo scultoreo, o il cui stato di conservazione sia compromesso al punto che le deformazioni e le alterazioni della materia non siano trascurabili nel processo di modellazione.

Se nei processi di *Historical Building Information Modeling* il modello virtuale si fonda sulle relazioni di interazione tra modelli di natura diversa, allora è lecito delineare delle possibilità ulteriori, o meglio, delle strategie operative alternative per affrontare, con la necessaria “trasparenza”, anche lo studio di manufatti, o elementi architettonici, particolarmente ostici se analizzati con gli strumenti di modellazione propri delle piattaforme di BIM *authoring*. Una strategia coerente ai fini della trasparenza e della scientifi-

cità dei processi di conoscenza potrebbe così basarsi anche sulla costruzione di modelli informativi che, già nel corso delle riflessioni preliminari, si è scelto di definire “ibridi”: il *database* andrebbe pertanto configurato in ambiente BIM come un collettore di informazioni, sia di mera acquisizione che rielaborate criticamente dalle diverse figure coinvolte, descritte da tipologie differenti di modelli (che gli applicativi consentono di integrare in modo ormai relativamente agevole), tutti afferenti ad un unico modello di sintesi (*merged model* o modello centralizzato). A mo’ di esempio, si pensi alla possibilità, qualora ciò si renda necessario o, meglio, più proficuo ai fini di una descrizione trasparente della conoscenza, di procedere alla modellazione di specifici elementi esternamente all’ambiente di BIM *authoring*, (ricorrendo a modelli per superfici *mesh* o modelli matematici di tipo *Nurbs*), e di importare poi tali modelli in quello centralizzato, “collegandoli” appunto al *database* relazionale unico.

Per comprendere meglio quanto affermato, si faccia nuovamente riferimento alla strategia operativa attuata nella ricerca condotta sul colonnato della Scala Regia in Vaticano (Paris et al., 2016), in parte basata proprio sull’interazione di modelli di natura diversa; in estrema sintesi, nella traduzione in ambiente BIM dell’oggetto “colonna”, data la complessità della conformazione scultorea dei capitelli, i ricercatori hanno proceduto ad una modellazione di tipo *mesh* degli stessi (a partire dalla *nuvola di punti*) e al collegamento di questi modelli non parametrici a quello parametrico del fusto delle singole colonne, tramite punti di inserimento e di controllo specificatamente individuati. Inutile ribadire quanto importanti siano, a tal proposito, le competenze e le capacità critiche delle figure volte al governo di questi processi, tanto nella definizione preliminare delle strategie più adeguate per la progettazione di un tale rilievo “parametrico” (Paris et al., 2016), quanto nella

progettazione delle gerarchie e dei vincoli fra gli elementi costitutivi del manufatto oggetto di studio.

Nel caso studio dell'opera di Michelucci, data la natura del manufatto, si è potuto procedere con relativa affidabilità nella "scomposizione" per elementi architettonici consueti dell'unità dello stesso e nella definizione ontologica delle entità. Stesso vale anche per altri edifici della città universitaria di Roma, in particolare per la facoltà di Botanica di G. Capponi, oggetto anch'essa della recente campagna di indagine (cui si è partecipato nella fase di rilevamento integrato) e del lavoro di tesi di una studentessa laureanda; anche sull'edificio di Capponi, infatti, la traduzione in ambiente BIM dei dati a disposizione ha dato risultati in linea con gli obiettivi di conoscenza preliminare (fig. 5.1). A tal proposito, si è inoltre tentata una più agile dichiarazione del *Level of Reliability* del modello informativo, attraverso l'esplicitazione grafica dei risultati. Più semplicemente, una volta determinato il livello di affidabilità degli ele-

menti con la procedura descritta nel capitolo quarto, nel caso specifico si è scelto di semplificare la scala numerica di attribuzione testuale in una scala grafica con tre soli livelli (affidabilità alta, media, o bassa) corrispondente a tre differenti colori (fig. 5.2). L'assegnazione dei colori ai singoli oggetti digitali è avvenuta manualmente ma, continuando nella ricerca in tal senso, si potrebbero stabilire delle regole di filtro (ovvero di comportamento grafico) che automaticamente assegnino i colori agli oggetti digitali in funzione del LOR raggiunto.

Nell'ipotesi invece di voler gestire in ambiente BIM le attività su un bene architettonico con caratteristiche morfologiche ben più complesse, è doveroso riflettere sulle strategie più idonee per una modellazione efficace in ambiente BIM; basti pensare ad un bene archeologico, per il quale può risultare estremamente difficile individuare geometrie e sistemi costruttivi chiari da tradurre in BIM-object. Le strategie operative possibili sono diverse e dipendono, ol-

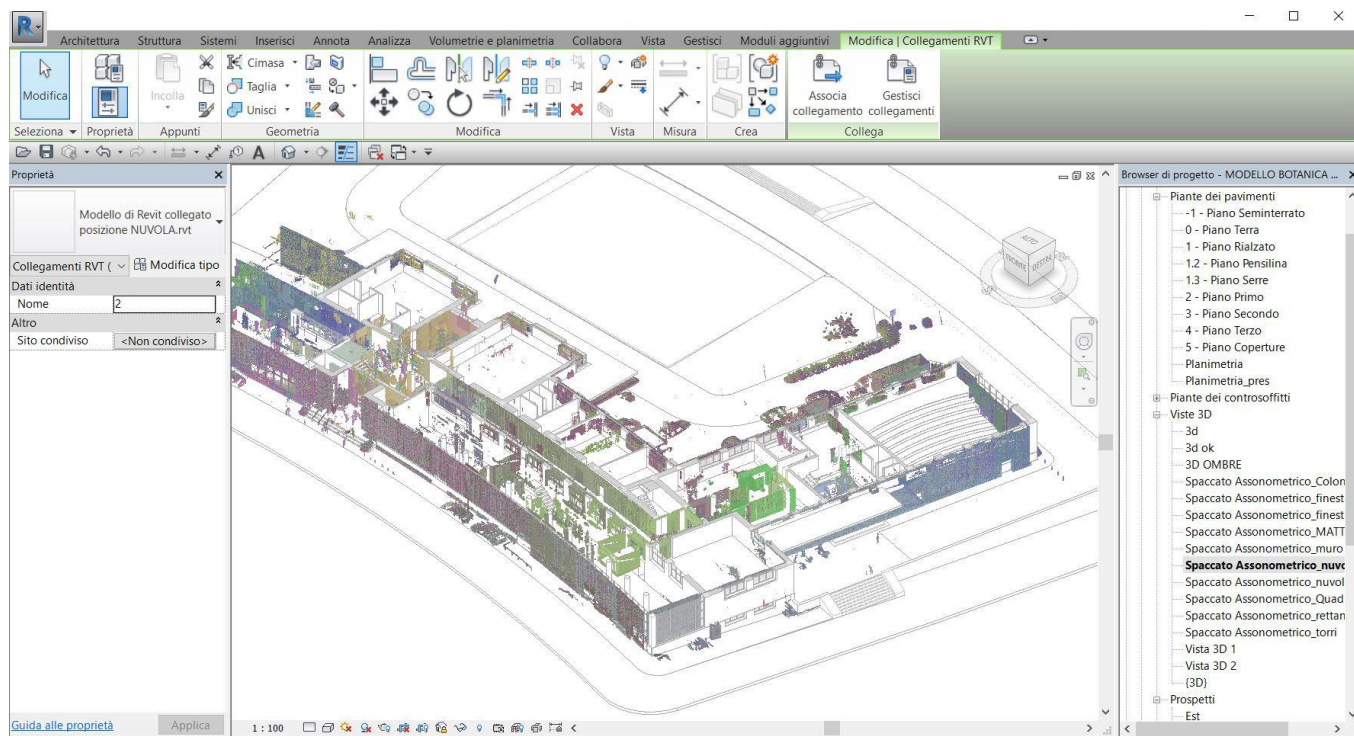


Fig. 5.1 – Visualizzazione in ambiente BIM del processo di modellazione della facoltà di Botanica all'interno della città universitaria di Roma nel lavoro di tesi della laureanda Martina D'Accunto (relatore prof. arch. Carlo Bianchini) - screenshot del processo in Autodesk Revit.

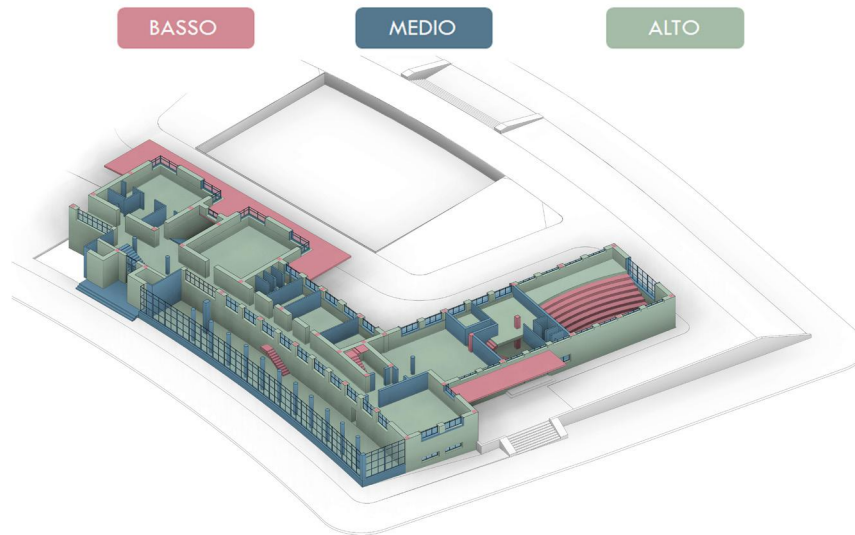


Fig. 5.2 – Esplicitazione grafica del Level of Reliability di una parte del modello informativo della facoltà di Botanica (laurenda Martina D'Accunto, relatore prof. arch. Carlo Bianchini).

tre che dalle caratteristiche dell'oggetto di studio, anche dai dati a disposizione e dagli obiettivi di rappresentazione che si intende perseguire. Qualora infatti si accetti una modellazione semplificata della realtà di studio, l'ambiente BIM può comunque risultare molto utile per l'archiviazione delle informazioni relative alla campagna di indagine, per il collegamento degli elementi e degli ambienti principali con le relative fonti d'archivio o con disegni esterni, oppure per l'esecuzione di visualizzazioni tematiche legate alla collocazione temporale degli elementi (fig. 5.3) o alle fasi di sviluppo e costruttive della fabbrica¹.

Nel caso in cui gli obiettivi del lavoro siano più concentrati sulla definizione progettuale degli elementi di intervento sul bene, una possibile ulteriore strategia potrebbe consistere nell'importare la *nuvola di punti* in ambiente BIM per "bloccare" la geometria dell'esistente, utilizzando però la stessa come "ossatura geometrica" di un modello "ibrido" che comprenderà poi gli elementi di progetto (ben più semplici da descrivere tramite BIM-object). In un workflow così delineato, si rinuncia in parte al processo di traduzione critica dei dati acquisiti ma, il potenziale dei sistemi BIM, resta comunque notevole; in questo caso, nell'implementazione e nella "contestualizzazione" degli

elementi progettuali di intervento. In un'ottica BIM-oriented, procedimenti simili ma di natura più strettamente operativa, sono infatti percorribili nell'ambito dell'adeguamento impiantistico o nel caso di interventi di consolidamento, protezione o allestimento riguardanti manufatti archeologici o architettonici la cui traduzione, in ambiente BIM, risulterebbe troppo complessa, o non congeniale agli obiettivi prefissati, o non conveniente rispetto alle risorse a disposizione; in sintesi, tali processi si basano sul "collegamento" dei BIM-object al modello numerico della *nuvola di punti* che concorre ad assicurare l'accuratezza geometrica del modello virtuale in termini di posizionamento reciproco degli oggetti digitali e del modello numerico.

Nei possibili *workflow* su descritti, è evidente che il rigore scientifico e la chiarezza metodologica sono requisiti fondamentali; se ben impostati a livello gerarchico, e se nomenclature e meccanismi di appartenenza degli elementi di varia natura sono chiari e consequenziali, tali modelli informativi "ibridi" consentono agli operatori di un *team* di ricerca (o professionale) di operare contemporaneamente, a differenti scale di dettaglio, nei differenti ambiti di intervento, e su differenti modelli, afferenti tutti ad un modello unico di sintesi.

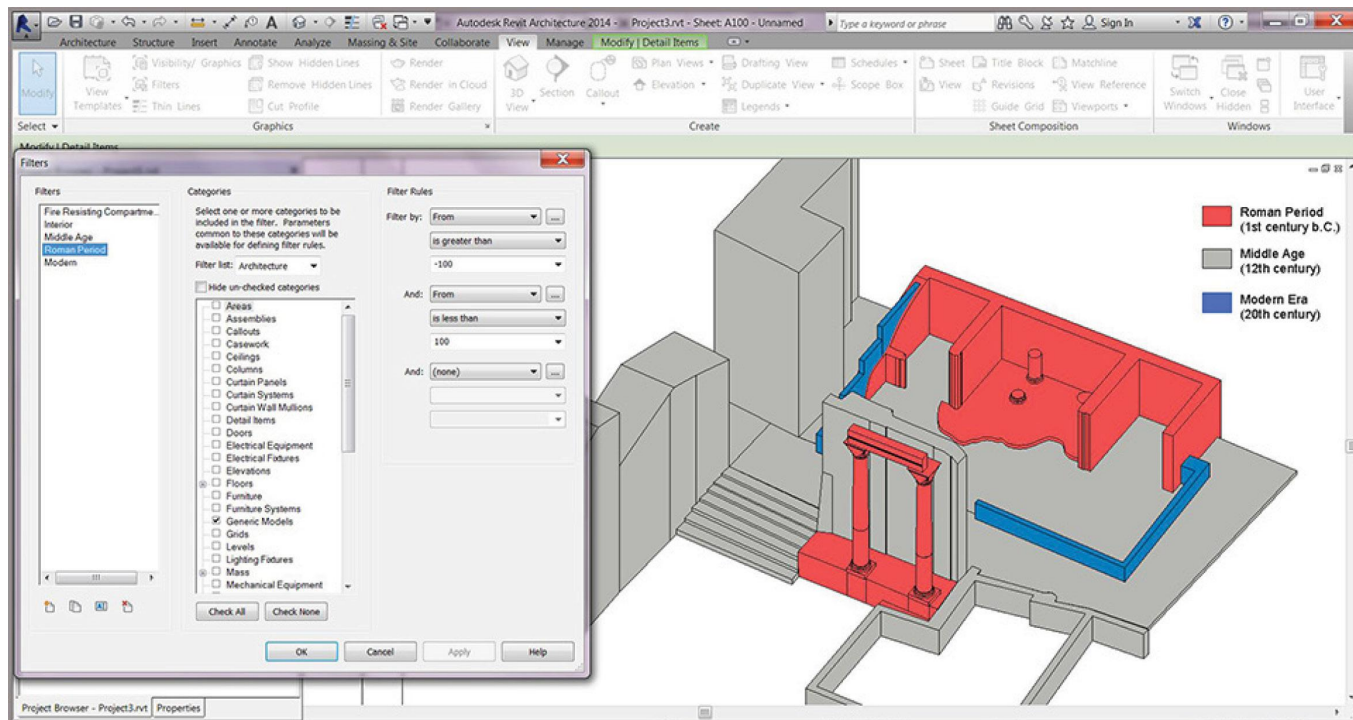


Fig. 5.3 – Esempio di visualizzazione tematica in ambiente BIM per lo studio e l'esplicitazione delle differenti fasi costruttive del Tempio di Castore e Polluce a Cori (Simeone et al., 2014, p. 687).

5.2 L'evoluzione BIM-oriented dei processi di conoscenza, documentazione e comunicazione del Patrimonio Culturale

Nell'ambito delle attività di ricerca e di intervento sul Patrimonio Culturale costruito, per quanto il quadro normativo sul BIM potrà evolvere, ed anche in seguito alla futura emanazione di specifiche linee guida, la specificità e l'unicità caratteristica dei beni di interesse storico-culturale "costringerà" sempre gli operatori a riflettere preliminarmente sulle esigenze e sugli obiettivi dei processi di conoscenza e di intervento, al fine di intraprendere le strategie di rappresentazione e documentazione "caso per caso" più adeguate. In questo senso, sebbene sia già stata prospettata la possibilità di descrivere direttamente tramite BIM-object i fenomeni di degrado superficiale in atto su un manufatto², dall'altro è stata evidenziata la difficoltà oggettiva di restituire, con le rigide funzionalità di model-

lazione BIM, la specificità di conformazioni deformate o deteriorate assunte nel tempo dagli elementi architettonici; non a caso, quest'ultimo è un punto su cui diverse ricerche nell'ambito disciplinare del Disegno e del Restauro sono oggi concentrate, con l'obiettivo comune e ambizioso di garantire una precisa documentazione dello stato di conservazione del manufatto e della sua evoluzione storica. Ciò premesso, per non "avventurarsi" in processi di modellazione ad oggi affatto congeniali alle piattaforme di BIM *authoring*, le possibili strategie da indagare sono anch'esse legate all'impostazione personalizzata di quelli che precedentemente si è scelto di definire modelli "ibridi". In sintesi, la ricerca potrebbe concentrarsi sulle più congeniali modalità per mettere in relazione il modello informativo, inevitabilmente semplificato a livello geometrico, con i sistemi di rappresentazione più adeguati all'analisi di particolari fenomeni degenerativi o di deformazione della materia del manufatto.

A tal proposito, le prospettive di ricerca sono molteplici e, sia nell'ambito professionale che in quello della ricerca, è possibile fare riferimento ad alcuni esempi significativi, di seguito riportati e commentati, per rendere più chiara l'evoluzione in atto dei processi *BIM-oriented* di conoscenza, documentazione e comunicazione del Patrimonio Culturale. In ambito professionale, è certamente interessante il sistema di gestione e di rappresentazione dei dati di rilievo messo in atto nelle fasi preliminari del rilievo e del progetto di conservazione del Sacro Militare di Redipuglia (GO), caso studio già citato nella ricerca. Nelle fasi iniziali, la restituzione dei dati della campagna di rilievo, condotta con l'ausilio di tecniche di acquisizione massiva e di indagini endoscopiche, l'analisi dei fenomeni di degrado in atto e la progettazione dell'intervento di restauro sono state gestite contemporaneamente attraverso elaborati grafici convenzionali collegati al *database* relazionale, ovvero al modello BIM del particolare complesso monumentale. Il modello informativo, seppur non molto dettagliato dal punto di vista delle peculiarità geometriche, ha assunto però il ruolo di collettore dei diversi modelli, nell'ottica di giungere ad una visione globale del manufatto in esame già nelle fasi iniziali del processo; così operando, infatti, il gruppo di lavoro ha potuto restituire nelle sezioni di dettaglio, tutte le deformazioni particolari

dei singoli elementi che, in ambiente H-BIM, erano stati tutti "mappati" come singoli *BIM-object*, modellati in tridimensionalmente ma nella conformazione geometrica non deformata, "ideale" o semplificata. In fase di progetto esecutivo, il livello di approfondimento del modello è cresciuto e nel *database* sono state implementate ulteriori informazioni in forma testuale e grafica (fig. 5.4), ad esempio per la caratterizzazione delle superfici tramite *textures* dedotte da fotopiani.

Relativamente alla possibilità di implementare in modo efficace i dati derivati da rilievi digitali fotogrammetrici nel modello parametrico H-BIM, si può invece far riferimento all'esperienza di ricerca condotta sul caso studio della chiesa di San Cipriano a Castelvevchio Calvisio (L'Aquila) da un gruppo di ricerca dell'Università degli Studi di L'Aquila e dell'Istituto per le Tecnologie della Costruzione del CNR (Continenza et al., 2016). L'analisi in ambiente H-BIM dei dati fotografici relativi alle superfici esterne ed interne della piccola chiesa in oggetto, infatti, è efficace per l'analisi del degrado superficiale e, a livello comunicativo, "sopperisce" in un certo senso all'inevitabile semplificazione geometrica delle superfici del modello virtuale; più precisamente, l'operazione di "texturizzazione" del modello parametrico riesce a restituire alcune delle caratteristiche peculiari del piccolo edificio di culto (fra

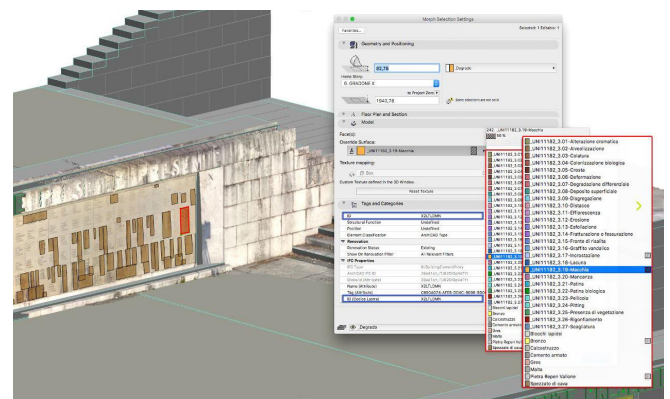
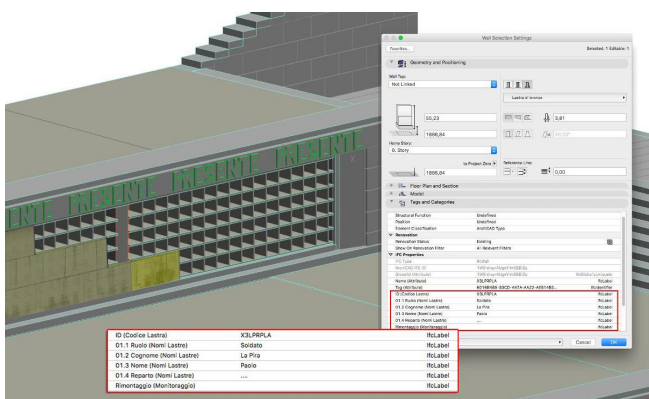


Fig. 5.4 – Visualizzazioni del processo di implementazione delle informazioni nel database relativo al progetto di restauro del Sacro Militare di Redipuglia (GO) - immagini tratte dal portfolio lavori della società BIMfactory, specializzata in consulenza e servizi connessi al Building Information Modeling (<http://www.bimfactory.it>).

tutte l'apparecchiatura muraria) che la conformazione geometrica semplificata degli oggetti digitali aveva in un certo senso "omologato" (fig. 5.5). Ancora nell'ambito della ricerca accademica, sono interessanti le prospettive di ricerca delineate dal gruppo della professoressa Donatella Fiorani, con particolare riferimento alla definizione del CPM *Conservation Process Model* (Fiorani et al, 2017) e all'esperienza di applicazione sul caso studio dell'Oratorio di San Saba in Roma (Acierno et al., 2017, pp. 130-133). Più che per la rappresentazione architettonica del manufatto (fig. 5.6), l'analisi del suddetto caso studio è stato motivo di profonde riflessioni in merito alle procedure di documentazione del Patrimonio Culturale possibili attraverso modelli informativi collegati a sistemi ontologici, in questo caso mutuati dal modello CIDOC *Conceptual Reference Model* e gestiti tramite il software *Protégé*.

Connesso al tema della documentazione del Patrimonio Culturale è quello, ancor più specifico, dell'integrazione nei database BIM dei metodi di catalogazione normalizzati dello stesso. A tal proposito, specificatamente nel panorama italiano, sarebbe interessante confrontarsi con l'ipotesi di integrare nei processi H-BIM i modelli proposti dall'Istituto Centrale per il Restauro (ISCR) tramite la Carta del Rischio o i vigenti metodi di catalogazione e gestione del Patrimonio Culturale adottati dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD) del Ministero dei

Beni e delle Attività Culturali e del Turismo. Quest'ultima ipotesi, meriterebbe di certo un approfondimento da parte della comunità scientifica (Inzerillo et al., 2016, p.16.2), con particolare riferimento alle Normative per la Catalogazione (versione 3.00) *Struttura dei dati: indicazioni di carattere generale* ed alla Normativa A - Architettura (versione 3.00) Norme di compilazione, al fine di comprendere se i criteri che ne sono alla base, possano o meno essere integrati nei database BIM. Bisogna sottolineare che, il ricorso a sistemi di catalogazione normalizzati per gli oggetti digitali del modello informativo in ambiente H-BIM andrebbe certamente (e positivamente) considerato nella determinazione del *Level of Reliability* degli oggetti digitali delineato nella presente ricerca; una strutturazione più certa dei dati informativi, così come l'ufficialità della loro strutturazione, influisce infatti sull'affidabilità scientifica del processo.

Se è vero che i processi di *Historical Building Information Modeling* vengono solitamente avviati per necessità legate alla conoscenza del bene (rilievo) e con uno sguardo rivolto ai vantaggi operativi per i futuri interventi di restauro o manutenzione sullo stesso, è pur vero che il risultato di questo importante investimento (ovvero il modello virtuale informativo) può essere "sfruttato" anche per altri fini, ad esempio, a scopo divulgativo. Relativamente al tema specifico del *Historical Building Information Modeling*

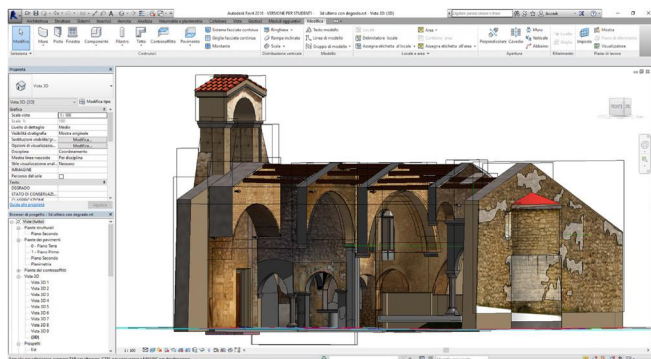
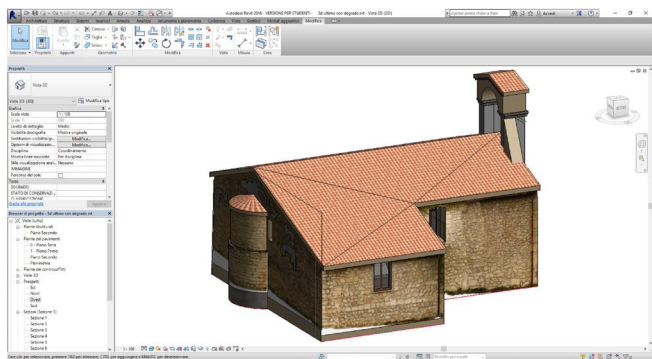


Fig. 5.5 – Visualizzazioni nella piattaforma di BIM authoring del modello informativo con applicazione sugli oggetti digitali delle textures specifiche della chiesa di San Cipriano a Castelvechio Calvisio (L'Aquila), oggetto delle recenti ricerche del gruppo dell'Università degli Studi di L'Aquila (Continenza et al., 2016, p. 15.7).

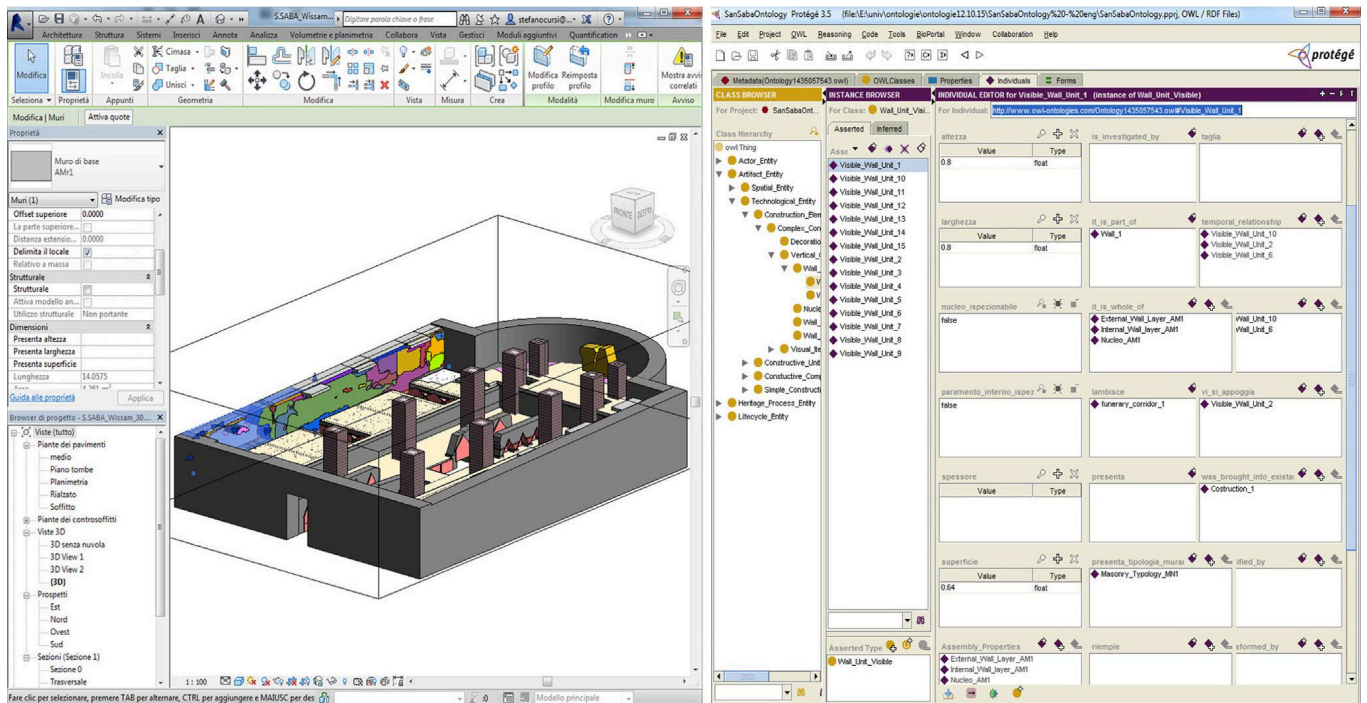


Fig. 5.6 – Visualizzazione del modello informativo dell’Oratorio di San Saba in Roma oggetto delle ricerche del gruppo della Sapienza Università degli Studi di Roma (Acierno et al., 2017, pp. 132); le proprietà delle entità del modello descrivono tramite ontologie dati non geometrici del manufatto relative a materiali, collocazione temporale, e stato di conservazione.

per la diffusione e comunicazione del *Cultural Heritage*, l’interesse della comunità scientifica è notevole ma, in letteratura, sono ancora limitate le ricerche che rimandano ad archivi digitali navigabili di modelli BIM, cosiddetti *database web-centered*. A tal proposito, sono però interessanti i risultati di una ricerca condotta in Canada dalla *Azrieli School of Architecture and Urbanism* della *Carleton University* volta alla realizzazione di un *database* navigabile *on line*³, denominato CDMICA (*Cultural Diversity and Material Imagination in Canadian Architecture*), che raccoglie molteplici dati di numerose emergenze nel patrimonio costruito del paesaggio rurale canadese⁴. Le ricerche nel *database web centered* possono avvenire secondo molteplici possibilità di *querying* e, una volta individuato il bene architettonico di interesse, la scheda tipo (fig. 5.7) mostra i dati informativi salienti, alcune riprese fotogra-

fiche e, soprattutto, il modello virtuale navigabile *on line* (con la possibilità di archiviare il relativo *file* sul proprio dispositivo nel formato nativo .rvt e in quello aperto .ifc). Le potenzialità dei modelli informativi sono in questo senso innegabili sebbene i risultati, dal punto di vista strettamente grafico, possono non garantire ancora le medesime sensazioni di fotorealismo o di immersione nella realtà virtuale raggiungibili con altri sistemi più congeniali; distinguendo i diversi profili di accesso a tali *database* (ad esempio per utente esperto o comune, per gestore o per operatore), si pensi però alla possibilità di conciliare tramite modelli interattivi (Inzerillo et al., 2016, p.16.4) le esigenze di conoscenza profonda del bene in oggetto con quelle divulgative, connesse ad esempio allo studio di “ipotesi ricostruttive” (Campi et al., 2017, p. 136) o dell’evoluzione storica della fabbrica.

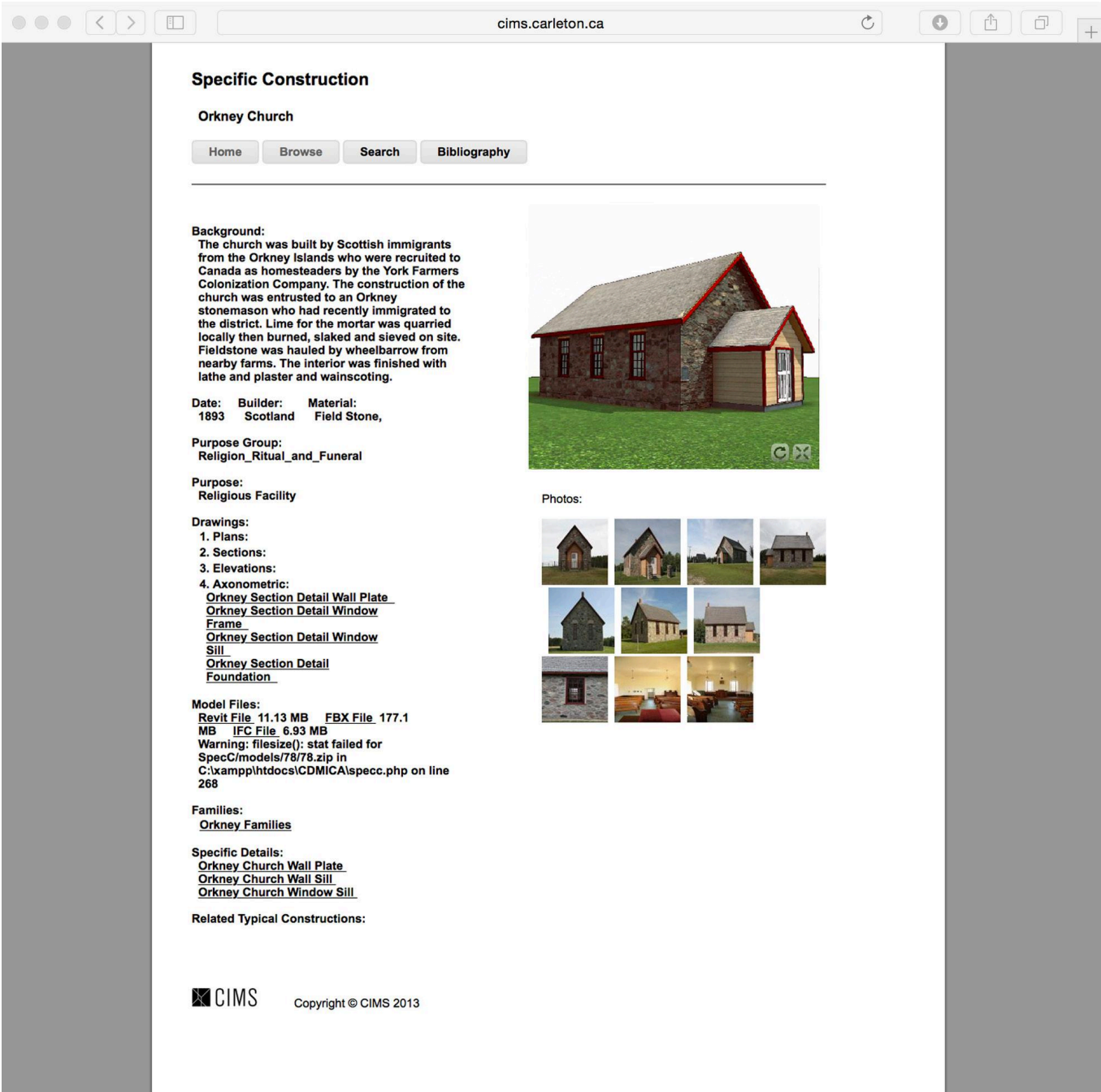


Fig. 5.7 – Esempio di visualizzazione on line di una pagina web del database CDMICA (Cultural Diversity and Material Imagination in Canadian Architecture) disponibile all'indirizzo <http://www.cims.carleton.ca/CDMICA/>.

5.3 Il ruolo del Disegno nella rivoluzione BIM

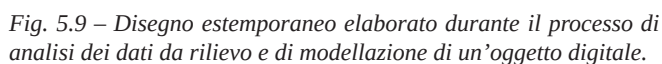
Oggi, navigando in rete o partecipando ad una delle innumerevoli iniziative di pubblicizzazione dei diversi applicativi di BIM *authoring*, la questione della rappresentazione del modello è liquidata in modo a dir poco approssimativo o, spesso, con proclami che annunciano la semplicità di processi del tutto automatici per l'estrapolazione dei disegni dal modello BIM (intesi come elaborati grafici convenzionali del processo edilizio) nonché di tutte le possibili visualizzazioni tridimensionali del progetto (fig. 5.8). Se è vero che la maggior parte degli applicativi di BIM *authoring*, specie se legati propriamente alla progettazione architettonica, possiedono ormai meccanismi di *default* avanzati per la rappresentazione del modello, è pur da rilevare che, nell'ambito della ricerca accademica, poco si è riflettuto sia sui risultati dell'applicazione di tali automatismi di disegno in termini di "espressività" che sulla più complessa questione della "rappresentabilità" del modello informativo o, più precisamente, dei dati che non siano attributi di natura strettamente geometrica. Considerate le già discusse differenze tra i modelli informativi e quelli elaborati per la sola visualizzazione, è doveroso interrogarsi su queste nuove modalità di elaborazione, visualizzazione e interazione consentite dai sistemi informativi e dalla realtà virtuale. Dato il livello di complessità cui i modelli informativi di tipo BIM possono arrivare, è naturale che per la loro visualizzazione sarà sempre più conveniente il ricorso a modelli interattivi, facilmente gestibili attraverso piattaforme semplificate; non a caso, tramite i più comuni *software* di BIM *authoring* o, anche attraverso applicativi cosiddetti di *visualisation* su dispositivi mobili (*tablet*, *smartphone*), i *database* BIM saranno sempre più facilmente interrogabili così come la visualizzazione dei modelli informativi sarà sempre più accessibile, tanto per l'utente comune che per le figure del settore esperte.

Ciò premesso, gli scenari che si delineano inevitabilmente all'orizzonte della rappresentazione architettonica, vedono un abbandono quasi certo della carta, materiale che per centinaia di anni ha rappresentato il supporto del Disegno inteso in senso tradizionale, ovvero come rappresentazione di una realtà tridimensionale, contingente o prefigurata,



Fig. 5.8 – Elaborazione grafica tratta dal portale di Autodesk Inc. <https://www.autodesk.com>.

su di un piano bidimensionale (anche nel caso dell'elaborazione grafica convenzionale con l'apporto dei sistemi di *computer-aided design*). Nel panorama italiano, tanto per questioni connesse alle normative vigenti (molte delle quali ancora non aggiornate alla luce della rivoluzione introdotta dalle ICT *Information and Communications Technology*), quanto per la consolidata abitudine degli operatori del settore di confrontarsi per mezzo di elaborati grafici convenzionali, tali processi di digitalizzazione delle informazioni e di "virtualizzazione" della rappresentazione del progetto sono in atto ma, in fin dei conti, non proprio imminenti. Infatti, sebbene studi di settore dedicati abbiano ormai ampiamente dimostrato i vantaggi dell'adozione del metodo BIM, il ritardo italiano è giustificato anche dalle difficoltà operative che il passaggio dal CAD al BIM determina proprio in merito alla condivisione del progetto fra gli operatori e alla sua rappresentazione e comunicazione alle committenze e agli enti autorizzativi. Oltre che per dotarsi di strumenti *software* e *hardware* adeguati, gli studi professionali e le diverse figure del processo edilizio devono infatti sostenere ulteriori investimenti, in termini temporali ed economici, per la radicale riorganizzazione delle proprie metodologie di lavoro, per l'aggiornamento professionale dei tecnici e, più specificatamente sul tema della rappresentazione architettonica, per l'adeguamento dei propri standard di elaborazione grafica, consolidati dopo decenni di lavoro in ambiente CAD.



operare direttamente nello spazio tridimensionale (anche senza l'ausilio di elaborati CAD di supporto), ci si può rendere presto conto di quanto importante e necessario sia il Disegno per l'analisi grafica estemporanea e la "progettazione" dei BIM-*object*. A supporto della modellazione, e parallelamente alla stessa, il disegno a mano svela ad esempio, nella sua immediatezza, tutte le potenzialità di strumento di sintesi del pensiero nei processi complessi quali l'individuazione delle variabili geometriche di tipo parametrico, degli assi di riferimento, dei profili tipo e dei percorsi di estrusione, o la comprensione dei meccanismi di sussunzione e appartenenza degli elementi.

Sebbene la possibilità di governare la complessità dei modelli informativi attraverso rappresentazioni convenzionali (piante, prospetti e sezioni) è assicurata dalla maggior parte della piattaforma di BIM *authoring*, nella prefigurazione di questi futuri scenari il modello virtuale in sé, informativo e centralizzato, sarà sempre più al centro dei processi operativi e di quelli comunicativi (di tipo immersivo e interattivo). Purtroppo, secondo convinzioni diffuse ma a dir poco errate, il Disegno sembra rimanere confinato in una dimensione oleografica che, anche in senso spregiativo, considera ad esempio le rappresentazioni convenzionali per proiezioni piane come attività poco efficaci e *time-consuming*; il rischio che la rappresentazione dell'architettura perda il suo carattere di espressività è pertanto notevole, declassandosi a mezzo strumentale per la visualizzazione dei dati numerici sistematizzati nel *database* BIM (Bianchini et al., 2016a, p.10.4). Tralasciando le questioni prettamente operative, tanto quelle connesse ai vantaggi economici del passaggio dal CAD al BIM, è d'obbligo per il settore disciplinare del Disegno governare tale processo di transizione da una rappresentazione architettonica autografica (seppur elaborata in ambiente CAD) ad una rappresentazione ottenuta per processi automatici dal modello virtuale. Si tratta di un compito a dir poco arduo, per attualizzare la «duplice valenza del disegno, forma di espressione e di conoscenza»⁶, ovvero per trasporre nel processo di modellazione in ambiente BIM le potenzialità euristiche (nella prefigurazione del risultato del progetto) ed ermeneutiche (nell'interpretazione e comprensione del reale) del Disegno.

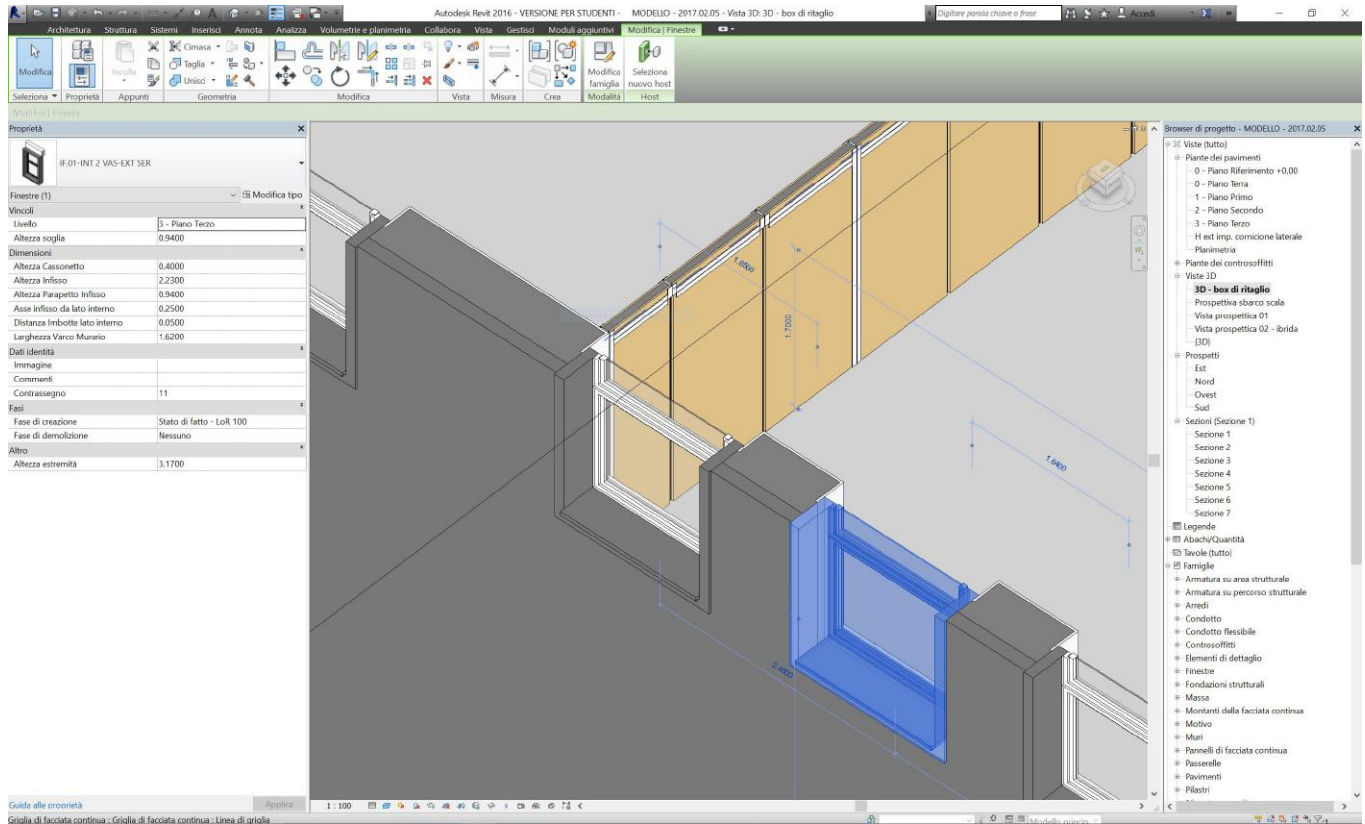


Fig. 5.10 – Visualizzazione del medesimo oggetto digitale “contestualizzato” nella piattaforma di BIM authoring al termine del processo di definizione - screenshot del processo in Autodesk Revit.

Note

- 1 Si vedano a tal proposito i risultati di un’esperienza di ricerca condotta sul caso studio del tempio di epoca romana di Castore e Polluce a Cori. Il modello è semplificato dal punto di vista geometrico ma è il collettore di molteplici informazioni 1D e 2D. SIMEONE, D., CURSI, S., TOLDO, I., CARRARA, G., 2014. BIM and knowledge for building heritage. *ACADIA 14: Design Agency*. Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Los Angeles, 13 ottobre 2014, pp. 681-690.
- 2 Ci si riferisce in particolare all’utilizzo della famiglia dell’applicativo Autodesk Revit delle cosiddette “componenti generiche adattive”; tali entità parametriche sono state utilizzate per la mappatura tridimensionale in ambiente BIM dei fenomeni di degrado superficiale della materia.
- 3 Il database web centered descritto è disponibile all’indirizzo: <http://www.cims.carleton.ca/CDMICA/>
- 4 L’iniziativa di creazione del database è descritta già nel 2011 nel seguente articolo: FAI, S., GRAHAM, K., DUCKWORTH, T., WOOD, N., ATTAR, R., 2011. Building Information Modeling and Heritage Documentation. *XXIII International CIPA Symposium*. Proceedings of the 23rd International CIPA Symposium, Prague, 2011.
- 5 Quello riportato in figura è uno degli innumerevoli disegni a mano elaborati dall’autore nel corso del processo di modellazione in ambiente BIM sul caso dell’Istituto di Mineralogia e Geologia.
- 6 IPPOLITI, E., 2000. *Rilevare. Comprendere misurare rappresentare*. Roma: Edizioni Kappa, p. 7. I capitoli introduttivi del testo, elaborato principalmente a scopo didattico, inquadrano in modo chiaro e sintetico molti dei più importanti concetti teorici di indiscussa valenza nel dimostrare tutt’oggi la forza del Disegno nel processo di conoscenza della realtà.

Bibliografia

Riferimenti bibliografici

- AA.VV., 2000. Verso la “Carta del Rilievo Architettonico”. In CUNDARI, C., CARNEVALI, L. (a cura di), *Il Rilievo dei Beni Architettonici per la Conservazione*. Atti del Convegno di Napoli, 15/17 aprile 1999. Roma: Edizioni Kappa.
- AA.VV., 2016. The London Charter for the computer-based visualisation of Cultural Heritage (Version 2.1, 2009). In BENTKOWSKA-KAFEL, A., DENARD, H., BAKER, D., *Paradata and transparency in virtual heritage*. London: Routledge Taylor and Francis Group, pp. 73-78.
- ACIERNO, M., CURSI, S., SIMEONE, D., FIORANI, D., 2017. Architectural heritage knowledge modelling: an ontology based framework for conservation process. *Journal of Cultural Heritage*. Volume 24, 2017, pp. 124-133.
- ALBISINNI, P., DE CARLO, L., 2011. *Architettura - disegno - modello. Verso un archivio digitale dell'opera dei maestri del XX secolo*. Roma: Gangemi.
- APOLLONIO, F. I., GAIANI, M., ZHENG, S., 2012. BIM-Based Modeling and Data Enrichment of Classical Architectural Buildings. *SCIRES-IT SCientific RESearch and Information Technology*. Volume 2, Issue 2, 2012, pp. 41-62.
- AZZARO, B., 2012. *La Città Universitaria della Sapienza di Roma e le sedi esterne 1907-1932*. Roma: Gangemi.
- BARAZETTI, L., SCAIONI, M., REMONDINO, F., 2010. Orientation and 3D modeling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation. *The Photogrammetric Record*, n.25, 2010, pp. 356-381.
- BHATLA, A., CHOE, S., FIERRO, O., LEITE, F., 2012. Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras. *Automation in Construction*, n. 28, 2012, pp.116-127.
- BIANCHINI, C., SENATORE, L.J., 2011. Metodi speditivi per la visualizzazione ed esplorazione interattiva di nuvole di punti. In DOCCI, M., *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città, Ricerca PRIN 2007*. Roma: Gangemi.
- BIANCHINI, C., 2012. *La documentazione dei teatri antichi nel mediterraneo. Le attività del progetto Athena a Mérida*. Roma: Gangemi.
- BIANCHINI, C., 2014. Survey, modeling, interpretation as multidisciplinary components of a Knowledge System. *SCIRES-IT SCientific RESearch and Information Technology*. Volume 4, Issue 1, 2014, pp. 15-24.
- BIANCHINI, C., IPPOLITO, A., BARTOLOMEI, C., 2015. The surveying and representation process applied to architecture: non contact-methods for the documentation of Cultural Heritage. In BRUSAPORCI, S., *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling and Representation*. Hershey (PA): IGI Global, pp. 45-93.
- BIANCHINI, C., INGLESE, C., IPPOLITO, A., 2016. Il contributo della Rappresentazione nel Building Information Modeling (BIM) per la gestione del costruito / The role of BIM for representation and managing of built and historic artefacts. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016, pp. 10.1-10.9.

BIANCHINI, C., INGLESE, C., IPPOLITO, A., MAIORINO, D., SENATORE, L. J., 2017. Building Information Modeling (BIM): Great Misunderstanding or Potential Opportunities for the Design Disciplines. In IPPOLITO, A., CIGOLA, M., *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling*. Hershey (PA): IGI Global, pp. 67-90.

BRANDI, C., 1977. *Teoria del restauro*. Torino: Einaudi, pp. 9-12.

BRUSAPORCI, S., 2010. *Sistemi informativi integrati per la tutela la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*. Roma: Gangemi.

BRUSAPORCI, S., CENTOFANTI, M., CONTINENZA, R., TRIZIO, I., 2012. Sistemi Informativi Architettonici per la gestione, tutela e fruizione dell'edilizia storica. Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA, Vicenza, 6-9 novembre 2012, pp. 315-322.

BRUSAPORCI, S., 2013. *Modelli complessi per il patrimonio architettonico urbano*. Roma: Gangemi.

BRUSAPORCI, S., TRIZIO, I., 2013. La "Carta di Londra" e il patrimonio architettonico: riflessioni circa una possibile impementazione. *SCIRES-IT SCIENTIFIC RESEARCH and Information Technology*. Volume 3, Issue 2, 2013, pp. 55-68.

BRUSAPORCI, S., 2014. Issues of Historic Town Surveying: Visualizing Urban Values. *SCIRES-IT SCIENTIFIC RESEARCH and Information Technology*. Volume 4, Issue 2, 2014, pp. 63-80.

BRUSAPORCI, S., 2015. On Visual Computing for Architectural Heritage. In BRUSAPORCI, S., *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*. Hershey (PA): IGI Global, pp. 95-124.

BRUSAPORCI, S., 2017. The Importance of Being Ho-

nest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage. In IPPOLITO, A., *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archeological Heritage*. Hershey (PA): IGI Global, pp. 68-96.

BRUSCHI, A., 1996. Roma. Istituto di Mineralogia Geologia e Paleontologia. Città universitaria, Giovanni Miceli 1933/35. In STRAPPA, G., MERCURIO, G., *Architettura moderna a Roma e nel Lazio 1920-1945, Atlante, Regione Lazio, Centro regionale per la documentazione dei Beni culturali e ambientali*. Roma: EdilStampa, p. 197.

CAMPI, M., DI LUGGO, A., SCANDURRA, S., 2017. 3D Modeling for the knowledge of Architectural Heritage and virtual reconstruction of its historical memory. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W3, pp. 133-139.

CAPUTI, M., ODORIZZI, P., STEFANI, M., 2015. *Il Building Information Modeling. BIM. Valore, gestione e soluzioni operative*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

CENTOFANTI, M., BRUSAPORCI, S., 2012. Architectural 3D modeling in historical buildings knowledge and restoration processes. In GAMBARDELLA, C., *Less More architecture design landscape*. Napoli: La Scuola di Pitagora.

CENTOFANTI, M., BRUSAPORCI, S., MAIEZZA, P., 2016. Tra "Historical BIM" ed "Heritage BIM: Building Information Modeling per la documentazione dei beni architettonici. In PARRINELLO, S., BESANA, D., (a cura di), *ReUSO 2016. Contributi per la documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e per la tutela del paesaggistica*. Firenze: Edifir Edizioni Firenze, pp. 42-51.

CENTOFANTI, M., CONTINENZA, R., BRUSAPORCI, S., TRIZIO, I., 2011. The Architectural Information Sy-

- stem SIArch3D-Univaq for analysis and preservation of architectural heritage. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-5/W16.
- CHENG, H., YANG, W., YEN, Y., 2015. BIM applied in historical building documentation and refurbishing. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W3.
- CHIABRANDO, F., LO TURCO, M., SANTAGATI, C., 2017. Digital Invasions: From point clouds to Historical Building Object Modeling (H-BOM) of a Unesco WHL Site. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W3, pp. 171-178.
- CHIABRANDO, F., LO TURCO, M., RINAUDO, F., 2017. Modeling the decay in an HBIM starting from 3D point clouds. A followed approach for Cultural Heritage knowledge. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W5, pp. 605-612.
- CIUCCI, G., LUX, S., PURINI, F., 2010. *Marcello Piacentini architetto 1881-1960*. Roma: Gangemi.
- CLINI, P., MALINVERNI, E. S., NESPECA, R., ORLIETTI, E., QUATTRINI, R., 2015. From tIs to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W4, pp. 367-374.
- CONFORTI, C., 2006. Istituti di Mineralogia - Geologia - Paleontologia e Fisiologia generale - Psicologia - Antropologia della città universitaria. Roma 1932-35. In CONFORTI, C., DUILIO, R., MIRANDOLA, M., *Giovanni Michelucci 1891-1990*. Milano: Electa, pp. 127-131.
- CONTINENZA, R., GIANNANGELI, A., TRIZIO, I., TATA, A., 2016. HBIM per il progetto di restauro: l'esempio della chiesa di San Cipriano a Castelveccchio Calvisio (L'Aquila) / HBIM for restoration projects: case study on San Cipriano Church in Castelveccchio Calvisio, Province of L'Aquila, Italy. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016, pp. 15.1-15.9.
- CUNDARI, C., Disegnare per conservare. *Disegnare: idee, immagini*. n. 0, 1989, pp. 55-60.
- DE RUBERTIS, R., 1994. *Il disegno dell'architettura*. Roma: Carocci.
- 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.
- DELLA TORRE, S., 2010. Conservazione programmata: i risvolti economici di un cambio di paradigma. *Il Capitale culturale - Studies on the Value of Cultural Heritage*, n. 1, 2010, pp. 47-55.
- DENARD, H., 2016. A new introduction to the London Charter. In BENTKOWSKA-KAFEL, A., DENARD, H., BAKER, D., *Paradata and transparency in virtual heritage*. London: Routledge Taylor and Francis Group, pp. 57-71.
- DI LUGGO, A., CATUOGNO, R., 2016. From point cloud to HBIM. Survey and modeling for the knowledge and management of architectural heritage. In EMPLER, T. (a cura di), *3D MODELING and BIM, Applicazioni e possibili futuri sviluppi / Applications and possible future developments*. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile.
- DI LUGGO, A., SCANDURRA, S., 2016. La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi H-BIM / The knowledge of the architectural heritage in HBIM systems from the discrete model to the parametric model. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016, pp. 11.1-11.8.

DOCCI, M., 1989. Disegno e rilievo: quale didattica?. *Disegnare: idee, immagini*. n. 0, 1989, pp. 37-55.

DOCCI, M., 2009. *Disegno e analisi grafica*. Roma-Bari: Editori Laterza.

DOCCI, M., MAESTRI, D., 2009. *Manuale del rilevamento architettonico e urbano*. Bari: Editori Laterza.

DORE, C., MURPHY, M., 2012. Integration of Historical Building Information Modeling H-BIM and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites. In *VSM 2012, 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*. Atti del Convegno Internazionale di Milano, 2-5 settembre 2012, pp. 369-376.

DORE, C., MURPHY, M., 2015. Historic Building Information Modeling (HBIM). In BRUSAPORCI, S., *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling and Representation*. Hershey (PA): IGI Global, pp. 239-279.

EASTMAN, C.M., FISHER, D., LAFUE, G., LIVIDINI, J., STOKER, D., YESSIOS, C., 1974. *An Outline of the Building Description System*. Pittsburgh: Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University, Research Report n. 50.

EASTMAN, C.M., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K., 2007. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Hoboken: John Wiley and Sons Inc.

EMPLER, T. (a cura di), 2016. *3D MODELING and BIM, Applicazioni e possibili futuri sviluppi / Applications and possible future developments*. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile.

FAI, S., GRAHAM, K., DUCKWORTH, T., WOOD, N., ATTAR, R., 2011. Building Information Modeling and Heritage Documentation. XXIII *International CIPA Symposium*. Proceedings of the 23rd International CIPA Sym-

posium, Prague, 2011.

FAI, S., FILIPPI, M., PALIAGA, S., 2013. Parametric modeling for the documentation of vernacular construction methods: a BIM model for the commissariat building, Ottawa, Canada. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W1, pp. 115-120.

FASSI, F., FREGONESE, L., ACKERMANN, S., DETROIA, V., 2013. Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W1, pp. 73-80.

FIORANI, D., ACIERNO, M., 2017. Conservation process model (CPM): a twofold scientific research scope in the information modelling for Cultural Heritage. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-5/W1, pp. 283-290.

GABELLONE, F., 2009. Ancient contexts and Virtual Reality: From reconstructive study to the construction of knowledge models. *Journal of Cultural Heritage*. Volume 10, Supplement 1, 2009, pp. e112-e117.

GABELLONE, F., 2011. The reconstructive study in archaeology: case histories in the communication issues. *SCIRES-IT SCientific REsearch and Information Technology*. Volume 1, Issue 1, 2011.

GABELLONE, F., 2012. La trasparenza scientifica in archeologia virtuale: una lettura critica al principio n.7 della carta di Siviglia. *SCIRES-IT SCientific REsearch and Information Technology*. Volume 2, Issue 2, 2012, pp. 99-123.

GARAGNANI, S., CINTI LUCIANI, S., 2011. Il modello parametrico in architettura: la tecnologia B.I.M. di Auto-

desk Revit / The parametric model in architecture: Autodesk Revit's B.I.M. technology. *Disegnarecon*. Volume 4, n. 7, 2011, pp. 20-29.

GARAGNANI, S., 2012. Building Information Modeling semantico e rilievi ad alta risoluzione di siti appartenenti al Patrimonio Culturale / Semantic Building Information Modeling and high definition surveys for Cultural Heritage sites. *Disegnarecon*. Numero Speciale, DoCo 2012 – Documentazione e Conservazione del Patrimonio Architettonico ed Urbano. Volume 5, n. 10, 2012, pp. 297-302.

GARAGNANI, S., MANFERDINI, 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, pp. 87-92.

INZERILLO, L., LO TURCO, M., PARRINIELLO, S., SANTAGATI, C., VALENTI, G.M., 2016. BIM e beni architettonici: verso una metodologia operativa per la conoscenza e la gestione del patrimonio culturale / BIM and architectural heritage: towards an operational methodology for the knowledge and the management of Cultural Heritage. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016, pp. 16.1-16.9.

IPPOLITI, E., 2000. *Rilevare. Comprendere misurare rappresentare*. Roma: Edizioni Kappa.

IPPOLITO, A., BORGOGNI, F., 2011. I modelli 3D nei rilievi di architettura. In DOCCI, M., *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città, Ricerca PRIN 2007*. Roma: Gangemi, pp. 71-77.

LETELLIER, R., SCHMID, W., LEBLANC, F., 2007. *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places. Guiding Principles*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.

LO TURCO, M., 2012. Dalle geometrie delle preesistenze

alla conoscenza della costruzione: un'esperienza di recupero aggiornata dalla metodologia BIM / From the geometry of pre-existing to the construction knowledge: an updated recovery from BIM. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 12, 2012, pp. 227-234.

LO TURCO, M., BOCCONCINO, M., 2012. Ambienti collaborativi per la condivisione della conoscenza: prime applicazioni di Building Information Modeling in ambito pubblico. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 12, 2012.

LO TURCO, M., 2015. *BIM and infographic representation in the construction process. A decade of research and applications*. Ariccia: Aracne.

LO TURCO, M., MATTONE, M., RINAUDO, F., 2017. Metric survey and BIM technologies to record decay conditions. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-5/W1, pp. 261-268.

LO TURCO, M., SANTAGATI, C., D'AGOSTINO, G., 2017. Populating a library of reusable H-BOMs: assessment of a feasible Image Based Modeling workflow. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W5, pp. 627-634.

MIGLIARI, R., 2003. *Geometria dei modelli*. Roma: Edizioni Kappa.

MINGUCCI, R., GARAGNANI, S., 2011. Strumenti digitali per la modellazione d'architettura / Digital modeling for architectural knowledge. *Disegnarecon*. Volume 4, n. 7, 2011, pp. 1-4.

MINGUCCI, R., GARAGNANI, S., CINTI LUCIANI, S., 2011. Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura / Building Information Modeling: digital technology serving architectural design. *Disegnarecon*. Volume 4, n. 7, 2011, pp. 5-19.

MINGUCCI, R., GARAGNANI, S., CINTI LUCIANI, S., 2012. CAD versus BIM: evoluzione di acronimi o rivoluzione nel mondo della progettazione? / CAD versus BIM: the evolution of acronyms or a revolution in the world of design? *Disegnare: idee, immagini*. n. 44, 2012, pp. 68-79.

MUNTONI, A., 2010. *Roma tra le due guerre 1919-1944*. Roma: Edizioni Kappa, pp. 87-126.

MURPHY, M., MCGOVERN, E., PAVIA, S., 2009. Historical Building Information Modeling (H-BIM). *Structural Survey*, Volume 27, n. 4, pp. 311-327.

MURPHY, M., MCGOVERN, E., PAVIA, S., 2011. Historic Building Information Modeling - adding intelligence to laser and image based surveys. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-5/W16.

NICASTRO, S., 2016. L'applicazione del BIM come sistema informativo localizzato nel processo di conoscenza del Patrimonio Culturale. In EMPLER, T. (a cura di), *3D MODELING and BIM, Applicazioni e possibili futuri sviluppi / Applications and possible future developments*. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile, pp. 164-172.

NICCOLUCCI, F., HERMON, S., 2010. A Fuzzy Logic Approach to Reliability in Archaeological Virtual Reconstruction. In NICCOLUCCI, F., HERMON, S. (eds), *Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past*. Proceedings of CAA2004, Prato, 13-17 April 2004. Budapest: Archaeolingua, pp. 28-35.

NOVELLO, G., LOTURCO, M., 2014. Sperimentare l'innovazione per interventi di recupero: rilevare, rappresentare, progettare in ambiente di modellazione digitale parametrica. *Italian Survey and International Experience*. Atti del 36° convegno internazionale dei Docenti della Rappresentazione (UID), Parma, 18-20 settembre 2014, pp. 967-974.

ORENI, D., BRUMANA, R., DELLA TORRE, S., BAN-

FI, F., BARAZZETTI, L., PREVITALI, M., 2014. Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5, pp. 267-273.

OSELLO, A., 2010. *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*. Palermo: Flaccovio.

OSELLO, A., BARONE, L., DAVARDOUST, S., DE LUCA, D., DEL GIUDICE, M., DELLOSTA, M., FONSATI, A., LUCIBELLO, G., RAPETTI, N., SEMERARO, F., UGLIOTTI, F. M., 2016. La centralità della Rappresentazione con il BIM / The centrality of Representation with BIM. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016, pp. 5.1-5.12.

QUATTRINI, R., CLINI, P., NESPECA, R., RUGGERI, L., 2016. Misura e Historical Information Building: sfide e opportunità nella rappresentazione di contenuti 3D semanticamente strutturati / Measurement and Historical Information Building: challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016, pp. 14.1-14.11.

PARIS, L., WAHBEH, W., 2016. Rilievo e rappresentazione delle geometrie parametriche per l'H-BIM / Survey and representation of the parametric geometries in HBIM. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016, pp. 12.1-12.9.

PAVAN, A., DANIOTTI, B., CECCONI, F., MALTESE, S., SPAGNOLO, S., CAFFI, V., CHIOZZI, M., PASINI, D., 2014. INNOVance: Italian BIM Database for Construction Process Management. In ISSA, R., FLO-OD, I., *Computing in Civil and Building Engineering*. Orlando: American Society of Civil Engineers, pp. 641-648.

PENTILLA, H., RAJALA, M., FREESE, S., 2007. Building Information Modelling of Modern Historic Buildings. Case Study of HUT / Architectural Department by Alvar Aalto. Conference Proceedings of the 25th eCAADe, Frankfurt am Main, 26-29 settembre 2007, pp. 607-614.

PICA, A., 1936. *Nuova architettura italiana*. Milano: Hoepli, pp. 145-147.

PURINI, F., 2006. *Comporre l'architettura*. Roma-Bari: Editori Laterza.

SENATORE, L. J., 2011. La scala del modello digitale. In DOCCI, M., *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città, Ricerca PRIN 2007*. Roma: Gangemi, pp. 47-52.

SIMEONE, D., CURSI, S., TOLDO, I., CARRARA, G., 2014. BIM and knowledge for building heritage. *ACADIA 14: Design Agency*. Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Los Angeles, 13 ottobre 2014, pp. 681-690.

SPALLONE, R., PIANO, A., PIANO, S., 2016. B.I.M. e beni architettonici: analisi e rappresentazione multi-scalare e multi-dimensionale di un insediamento storico. Il caso studio di Montemagno, Borgo Nuovo piemontese / B.I.M. and cultural heritage: multi-scalar and multi-dimensional analysis and representation of an historical settlement. The case study of Montemagno, a New Village in Piedmont. *Disegnarecon*. Volume 9, n. 16, 2016, pp. 13.1-13.13.

VALENTI, G.M., CASALE, A., ROMOR, J., CALVANO, M., 2012. Modellazione parametrica: tecnologie a confronto. In AA.VV., *Geometria Descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione*. Roma: Edizioni Kappa, Volume 1, p. 41-51.

VOLK, R., STENGEL, J., SCHULTMANN, F., 2014. Building Information Models (BIM) for existing buildings - literature review and future needs. *Automation in Construction*, n. 38, 2014, pp.109-127.

ZACCHEI, V., 2010. *Building Information Modeling. Nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione-costruzione*. Roma: Aracne Editrice.

Riferimenti web

ANAC. Autorità Nazionale Anticorruzione. [visitato 21 marzo 2017]. Disponibile da: http://www.avcp.it/portal/public/classic/AttivitaAutorita/AttiDellAutorita/_Atto?ca=5936.

Archivio Storico Istituto Luce. Luce Cinecittà. [visitato 10 febbraio 2017]. Disponibile da: <http://www.archivioluce.com>.

Autodesk. Autodesk Inc. <https://www.autodesk.com>.

BIM Accademy. CAD Accademy srl Italy. Disponibile da: www.bimacademy.it.

Bimgroup. BIM GROUP. [visitato 21 marzo 2017]. Disponibile da: <http://bimgroup.eu/2014/12/12/la-direttiva-europea-sulluso-del-bim/>.

Bim portale. TeamSystem S.p.A.. [visitato 21 marzo 2017]. Disponibile da: <https://www.bimportale.com/norma-uni-bim-classificazioni-denominazioni-condivise/>.

BuildingSmart - International home of OpenBim. BuildingSmart. Disponibile da: <http://www.buildingsmart.org>.

BuildingSmart Italia. BuildingSmart Italia. Disponibile da: <http://www.buildingsmartitalia.org>.

CIDOC Conceptual Reference Model (CRM). ICOM / CIDOC. [visitato 2 settembre 2017]. Disponibile da: <http://www.cidoc-crm.org>.

Disegnarecon. Università degli Studi dell'Aquila. 2015. Disponibile da: <http://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/index>

ICOMOS - Conseil International des Monuments et des Sites (*Principes pour l'établissement d'archives documentaires des monuments, des ensembles architecturaux et des sites*, 1996). International Council on Monuments and Sites. 2011. [visitato 1 settembre 2017]. Disponibile da: <http://www.icomos.org/charters/archives-f.pdf>.

ICOMOS - Conseil International des Monuments et des Sites (*Charte de Venise*, 1964). International Council on Monuments and Sites. 2011. [visitato 1 settembre 2017]. Disponibile da: <http://www.icomos.org/charters/venice-f.pdf>.

IGI Global - Disseminator of Knowledge. IGI Global. Disponibile da: <https://www.igi-global.com>.

Ingenio - Informazione tecnica e progettuale. IMREADY Srl. 2012. [visitato 10 gennaio 2017]. Disponibile da: <http://www.ingenio-web.it/Notizia/8425/Ecco-le-nuove-norme-BIM:-approvata-la-norma-UNI-11337-parti-1-4-e-5.html>.

Innovance. ANCE Associazione Nazionale Costruttori Edili. [visitato 20 febbraio 2017]. Disponibile da: <http://www.innovance.it>.

International Alliance for Interoperability. Capitolo Italiano I.A.I.. Disponibile da: <http://www.iaiitalia.polimi.it/>.

Journal of Cultural Heritage. Elsevier B.V.. Disponibile da: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cultural-heritage>.

London Charter (Carta di Londra). LONDONCHARTER.ORG. [visitato 10 luglio 2017]. Disponibile da: http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_it.pdf.

NIBS National Institute of Building Sciences. National Institute of Building Sciences. Disponibile da: <http://www.nibs.org>.

NYC DDC Department of Design and Construction (BIM Guidelines). City of New York. [visitato 01 marzo 2017]. Disponibile da: <http://www1.nyc.gov/assets/ddc/downloads/publications/guides-manuals/bim-guide.pdf>.

Seville Principles (Carta di Siviglia). INNOVA / SEAV. [visitato 10 luglio 2017]. Disponibile da: <http://www.se>

villeprinciples.com/.

Unesco (Charter on the Preservation of Digital Heritage, 2003). UNESCO. [visitato 8 gennaio 2017]. Disponibile da: http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html.

XY digitale. XY digitale. 2015. Disponibile da: <http://xy-digitale.it>.



estratto del curriculum

Nasce a Ragusa il 21 Ottobre 1984. Diplomato presso il Liceo Scientifico “E. Fermi” di Ragusa, si iscrive alla Facoltà di Architettura presso l’Università “Sapienza” di Roma dove si laurea con lode nel 2010 con una tesi progettuale incentrata sul rilievo, la riqualificazione e la ri-funzionalizzazione di un edificio costruito negli anni Settanta nella piazza principale del centro storico di Ragusa, nel territorio della Val di Noto, dichiarato nel 2002 dall’UNESCO Patrimonio dell’umanità.

Dopo la laurea consegue l’abilitazione all’esercizio della professione e si iscrive all’Albo degli Architetti di Ragusa e Provincia. Collabora con diversi studi d’architettura e società di ingegneria su importanti interventi architettonici nell’ambito della progettazione integrata, del recupero edilizio e del consolidamento strutturale. Nel 2014 partecipa con successo al concorso per accedere al Dottorato in Storia, Disegno e Restauro dell’Architettura. Partecipa ai corsi di alta formazione, ai seminari didattici e ai *workshop* previsti all’interno del Dottorato dove ha l’occasione di approfondire diverse tematiche, fra tutte quelle legate ai processi di rilievo, rappresentazione e comunicazione del patrimonio esistente di interesse storico-culturale.

Nel corso del Dottorato, ha affiancato alla ricerca il supporto alle attività didattiche presso il corso integrato di *Scienze della Rappresentazione I* dei proff. Carlo Bianchini ed Emanuela Chiavoni presso la Facoltà di Architettura dell’Università “Sapienza” di Roma.

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

Dottorato in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

Coordinatore prof.ssa Donatella Fiorani

Sezione B - Disegno dell'Architettura

Responsabile prof.ssa Laura Carnevali

Sede

Piazza Borghese, 9

00186 Roma

http://www.dsdr.it/drupaluni/didattica_/dottorato_sdra

Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo

Sede centrale di coordinamento

Università degli Studi di Roma

Direttore

prof.ssa Laura Carnevali