

Martina Attenni, Maria Laura Rossi

HBIM come processo di conoscenza

Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

FORME DEL DISEGNO
FrancoAngeli

FORME DEL DISEGNO

Collana diretta da Elena Ippoliti, Michela Rossi, Edoardo Dotto

La collana FORME DEL DISEGNO si propone come occasione per la condivisione di riflessioni sul disegno quale linguaggio antropologicamente naturale, al tempo stesso culturale e universale, e che indica contemporaneamente la concezione e l'esecuzione dei suoi oggetti.

In particolare raccoglie opere e saggi sul disegno e sulla rappresentazione nell'ambito dell'architettura, dell'ingegneria e del design in un'ottica sia di approfondimento sia di divulgazione scientifica.

La collana si articola in tre sezioni: PUNTO, che raccoglie contributi più prettamente teorici su tematiche puntuali, LINEA, che ospita contributi tesi alla sistematizzazione delle conoscenze intorno ad argomenti specifici, SUPERFICIE, che presenta pratiche ed attività sperimentali su casi studio o argomenti peculiari.

Comitato editoriale - indirizzo scientifico

Carlo Bianchini, Pedro Manuel Cabezas Bernal, Andrea Casale, Alessandra Cirafici, Paolo Clini, Edoardo Dotto, Pablo Lorenzo Eiroa, Fabrizio Gay, Elena Ippoliti, Leonardo Paris, Sandro Parrinello, Fabio Quici, Michela Rossi, Andrew Saunders, Graziano Mario Valenti

Comitato editoriale - coordinamento

Andrea Casale, Elena Ippoliti, Leonardo Paris, Fabio Quici, Graziano Mario Valenti

Progetto grafico

Andrea Casale



Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

FrancoAngeli Open Access è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

http://www.francoangeli.it/come_pubblicare/pubblicare_19.asp

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

Martina Attenni, Maria Laura Rossi

HBIM come processo di conoscenza

Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

FORME DEL DISEGNO

Sezione

SUPERFICIE

FrancoAngeli

Le immagini contenute nel presente volume, ove non specificato, sono fotografie o elaborazioni realizzate dalle autrici; le altre sono in licenza CC. Le autrici e l'editore si scusano per eventuali errori e si dichiarano a disposizione degli aventi diritto laddove non sia stato possibile rintracciarli.

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE EDILE E AMBIENTALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Il volume è frutto della collaborazione delle autrici. Sebbene il contenuto sia stato interamente condiviso, i capitoli e i paragrafi sono stati redatti come segue.

Maria Laura Rossi: capitolo *L'evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale*; del capitolo *BIM/HBIM: il tipo* i paragrafi *Il tipo architettonico* e *La tipizzazione dei template*; del capitolo *Metodologia* i paragrafi *L'impostazione del processo: controllo, principio di tolleranza e approccio centrale* e *Gli aspetti preliminari della modellazione*; del capitolo *Sperimentazione* il paragrafo *I loggiati rinascimentali del centro Italia: tra architettura militare e civile*; del paragrafo *Il razionalismo italiano nella Città Universitaria di Roma* la parte relativa alla costruzione del modello informato della Scuola di Matematica.

Martina Attenni: capitolo *BIM/HBIM: il modello*; del capitolo *BIM/HBIM: il tipo* il paragrafo introduttivo e i paragrafi *Il modello ideale* e *La questione dell'affidabilità dell'HBIM*; del capitolo *Metodologia* il paragrafo introduttivo e *L'organizzazione della conoscenza*; del capitolo *Sperimentazione*, il paragrafo *Il razionalismo italiano nella Città Universitaria di Roma*, ad esclusione della parte relativa alla costruzione del modello informato della Scuola di Matematica; *Note e considerazioni conclusive*.

In copertina:
elaborazione grafica di Leonardo Paris

Copyright © 2022 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Pubblicato con licenza *Creative Commons Attribuzione-Non opere derivate 4.0 Internazionale*
(CC-BY-ND 4.0)

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito

<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.it>

| | Indice |
|---|--------|
| Presentazione | 7 |
| Carlo Bianchini | |
| Prefazione | 9 |
| Leonardo Paris | |
| Parte prima | |
| 1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale | 15 |
| L'evoluzione del sistema produttivo-industriale e le ricadute in ambito architettonico | 16 |
| Le innovazioni tecnologiche e i modelli per l'architettura | 29 |
| La modellazione parametrica, algoritmica e associativa | 35 |
| Le tecnologie informatiche per la gestione del lavoro nel BIM | 41 |
| 2. BIM/HBIM: il modello | 45 |
| Il BIM: presupposti teorici e applicazioni | 46 |
| L'HBIM: presupposti teorici e applicazioni | 53 |
| La struttura dell'HBIM e la relazione con i dati di rilievo | 58 |
| L'approccio HBIM: quale modello? | 63 |

| | |
|--|----|
| 3. BIM/HBIM: il tipo | 69 |
| Il modello ideale | 70 |
| Il tipo architettonico | 76 |
| La tipizzazione dei template | 84 |
| La questione dell'affidabilità dell'HBIM | 86 |

Parte seconda

| | |
|--|-----|
| 1. Metodologia | 95 |
| L'impostazione del processo: controllo, principio di tolleranza e approccio centrale | 97 |
| Gli aspetti preliminari della modellazione | 104 |
| L'organizzazione della conoscenza | 109 |
| 2. Sperimentazione | 115 |
| I loggiati rinascimentali del centro Italia: tra architettura militare e civile | 124 |
| Palazzo Camuccini a Cantalupo in Sabina e Palazzo Cesi ad Acquasparta | 129 |
| Il rilievo e l'analisi dei dati | 134 |
| La costruzione del modello informato | 145 |
| Il razionalismo italiano nella Città Universitaria di Roma | 153 |
| L'Istituto di Botanica | 159 |
| La Scuola di Matematica | 165 |
| Il rilievo e l'analisi dei dati | 176 |
| La costruzione del modello informato | 188 |
| Considerazioni e note conclusive | 203 |
| English abstract | 209 |
| Bibliografia | 213 |

Presentazione

Carlo Bianchini

Il Building Information Modelling, più noto con il suo acronimo BIM, ha costituito, costituisce e costituirà ancora per molto tempo una delle innovazioni più rilevanti nel campo della cosiddetta AEC (Architecture, Engineering and Construction) Industry. Si tratta come noto di un'innovazione essenzialmente "di processo" che sta però rivoluzionando ogni fase del workflow edilizio, dalla progettazione fino alla dismissione dell'edificio. Sperimentata con grande successo sulle nuove costruzioni, l'estensione del BIM agli edifici esistenti (in particolare a quelli che presentano un forte valore storico o culturale) è stata finora considerata o una mera trasposizione di procedure tra edifici nuovi e costruiti, oppure un semplice problema tecnico destinato a risolversi naturalmente adeguando l'ambiente digitale alle nuove specifiche. In altre parole, poiché "gli edifici sono edifici" e il BIM si è dimostrato di grande successo in termini di ottimizzazione di tempo e risorse per quelli nuovi, questi vantaggi sono stati ritenuti per alcuni anni estendibili al patrimonio esistente senza troppi sforzi.

Possiamo ora affermare che questo approccio si è rivelato troppo semplicistico e in realtà incapace di gestire la complessità del Patrimonio Costruito. Gli edifici esistenti, a differenza di quelli nuovi, mantengono infatti nascosta la maggior parte delle informazioni circa la loro intrinseca natura, struttura e consistenza, rendendo molto più difficile la modellazione parametrica e informativa, sia in termini di trascrizione geometrica sia nella messa a punto di descrizioni efficaci degli oggetti reali sul piano qualitativo e semantico. A queste difficoltà si unisce inoltre l'inelasticità tipica dei modellatori parametrici BIM e delle libraries digitali ad

HBIM come processo di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

essi collegate che inevitabilmente si scontrano con il carattere olistico degli edifici esistenti, soprattutto quando sono stratificati o in cattivo stato di conservazione.

Le semplici osservazioni fin qui svolte hanno indotto un cambiamento radicale nella prospettiva teorica e operativa del BIM "convenzionale" e rappresentano di fatto il motivo che ha condotto alla necessità di introdurre la denominazione HBIM (dove l'"H" aggiunta sta per Historic o Heritage) ormai comunemente accettata quando si tratta di applicazioni su edifici esistenti. Anche se permangono non poche questioni ancora irrisolte, il potenziale del HBIM è tuttavia innegabile. Questo dato di fatto ha stimolato non solo il miglioramento dei sistemi sul piano tecnologico ma anche, come è ovvio, la curiosità di numerosi ricercatori come ampiamente dimostrato dalla straordinaria fioritura di lavori in ambito BIM ed HBIM dell'ultimo decennio. La maggior parte di essi, tuttavia, presenta soluzioni o "buone pratiche" rispetto a problemi singolari con un accento squisitamente tecnico-procedurale che semplicemente non è interessato a mettere a fuoco il quadro teorico generale. A questa produzione mainstream fa da qualche anno da contrappunto una "nicchia" orientata invece a privilegiare gli aspetti più teorici quale strumento per sviluppare una pratica più efficace. Si tratta di un'impostazione dalla crescente diffusione ma che vede certamente i ricercatori e gli studiosi italiani dell'area del Disegno in prima fila in questo sforzo. La ragione di questo fenomeno discende a mio avviso sia dalla natura del Patrimonio Costruito con cui tutti ci confrontiamo sia dal quel concetto di Modello delineato a partire dagli anni 2000 in molti lavori riferibili all'area disciplinare: un Modello che solo in ultima analisi è prodotto e che invece esprime un carattere prevalente di atto di lettura critica. Conseguentemente, la messa a fuoco delle attività funzionali a questa lettura che ormai in letteratura viene definita di Meta-modellazione diviene un elemento cruciale.

Questa forse troppo lunga premessa era necessaria a mio avviso per inquadrare in quale contesto scientifico si sono mosse Martina Attenni e Maria Laura Rossi nell'affrontare in questo volume un tema così complesso e articolato ancora una volta dimostrando quanto il punto di vista del Disegno aiuti ad inquadrare la profondità di problemi che altri considerano tecnicità operative.

L'impostazione scelta dalle due giovani studiose consente infatti di ricostruire l'evoluzione dei sistemi HBIM sia nella prospettiva storica della progressiva industrializzazione delle costruzioni, sia nel quadro più strettamente legato alle questioni di meta-modellazione e modellazione informativa. Non si tratta tuttavia di una dissertazione soltanto teorica; al contrario, come avviene nei lavori migliori, la teoria viene anche in questo caso spiegata, sostenuta e validata per mezzo di numerose applicazioni sperimentali che Attenni e Rossi hanno con rigore sviluppato nel corso degli ultimi anni.

Certamente un bel libro, dunque; ma soprattutto un ottimo prodotto scientifico e uno strumento per quanti, anche in futuro, si cimenteranno con la modellazione informativa del Patrimonio Costruito.

Prefazione

Leonardo Paris

L'acronimo BIM nel giro di pochi anni è entrato prepotentemente nel linguaggio comune di chi opera nell'ambito dell'architettura e dell'ingegneria. Recentemente tale acronimo viene comunemente utilizzato anche nel variegato mondo del design.

La rapidità con cui il BIM è riuscito a monopolizzare l'attenzione ha determinato, soprattutto nel mondo accademico, la formazione di due schieramenti: i fautori ed i detrattori.

Di contro nel mondo produttivo e professionale – che dalla rivoluzione digitale in poi viaggia spesso su binari paralleli – l'approccio è stato più pragmatico e cinico perché si è concretizzata la possibilità di avere a disposizione un modello tridimensionale più o meno accurato di un edificio (da costruire o esistente) in cui poter inserire e da cui poter estrarre una notevole quantità di informazioni ben oltre il semplice dato geometrico. Questo nuovo approccio, se ben applicato, dovrebbe essere in grado di rendere più snella ed agevole la partecipazione di tutte quelle figure, professionali e non, che a vario titolo intervengono nel processo edilizio.

I benefici del BIM sono apparsi così evidenti che (caso abbastanza raro nella storia recente) i legislatori hanno emanato norme e direttive con molta solerzia e condivisione di intenti con il fine di agevolare ed accelerare l'introduzione ob-

HBIM come processo di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

bligatoria dell'uso di metodi e strumenti elettronici per gli appalti pubblici. Ma, come detto, il mondo produttivo e professionale è per sua natura pragmatico e cinico per cui, soprattutto in un periodo di transizione tecnologica e culturale come quello che stiamo vivendo, fintanto che non si consolida la reale portata innovatrice del processo, è usuale assistere ad un utilizzo del BIM semplificato e a volte distorto con conseguenti possibili criticità.

Il mondo accademico può in questo caso essere determinate da un lato nell'accelerare la transizione tecnologica e dall'altro nel porre delle questioni più strettamente culturali che dovrebbero, nel medio periodo, evitare le eccessive semplificazioni o le possibili distorsioni.

Tale aspetto è ancora più evidente quando si parla di HBIM nel momento in cui si vogliono piegare logiche di organizzazione del modello informato, sviluppate per le nuove costruzioni, ad edifici storici (H di Historic) di interesse culturale (H di Heritage).

Ma il nostro patrimonio edilizio non è fatto solo di edifici storici dal forte valore culturale. Anzi, a ben vedere, queste caratteristiche si ritrovano solo in una percentuale molto bassa. C'è un enorme patrimonio che rifugge dall'essere etichettato con una H ma che ha pari dignità e che, a ben vedere, rappresenta la vera sfida della transizione ecologica nell'edilizia, basata sul recupero e sulla rifunzionalizzazione dell'esistente. In una logica di eccessiva settorializzazione delle competenze nel processo edilizio si assiste sempre più spesso ad un'affannosa ricerca nella definizione di nuovi acronimi derivati dal BIM. Sarebbe invece auspicabile, soprattutto da parte del mondo accademico, studiare i principi generali che sono alla base del processo BIM piuttosto che inventare nuovi acronimi spesso incomprensibili. Come ben evidenziato nel libro di Martina Attenni e Maria Laura Rossi c'è una logica BIM, chiara e già ampiamente normata, che nel momento in cui viene applicata ad un edificio esistente (al di là del suo essere Historic o Heritage) impone delle riflessioni che non riguardano solo gli aspetti tecnologici ma anche e soprattutto culturali. Questo approccio investe in prima persona il professionista, architetto o ingegnere, che assume così anche la funzione di garante contro eccessive semplificazioni e/o distorsioni.

Il libro si sofferma quindi su questioni che sono prima di tutto culturali e di metodo.

La rapida diffusione a cui abbiamo assistito negli ultimi dieci anni impone una riflessione che metta bene a fuoco sia i benefici (perché è indubbio che l'applicazione di un processo HBIM in determinati contesti determina dei benefici) che le possibili criticità (perché è altrettanto indubbio che tale applicazione può comportare delle criticità).

I detrattori del BIM che sono in ogni caso partecipi di questo cambiamento hanno spesso difficoltà a comprenderne la portata ed i possibili cambiamenti nel breve e medio periodo. La tecnologia digitale ci ha però insegnato che questi cambiamenti sono sempre più rapidi e che sempre più rapide devono essere le risposte in grado di governarli.

Il libro di Martina Attenni e Maria Laura Rossi, anche grazie ad una esperienza maturata in anni di applicazioni e ricerche, ha il merito di focalizzare l'attenzione su pregi e difetti nell'applicazione del processo BIM ad edifici esistenti proponendone un approccio in cui l'aspetto culturale è strettamente concatenato con la componente tecnologica.

Il punto è di particolare rilevanza nel momento in cui si vuole riaffermare la centralità dell'architetto e dell'ingegnere nel controllo e nel coordinamento delle diverse fasi che caratterizzano il processo edilizio.

C'è un aspetto da mettere in evidenza leggendo il libro, che riguarda il concetto di modello.

Il riferimento è ovviamente alla lettera M che sta per modeling che nella sua traduzione letteraria sta per modellazione, cioè l'azione di generare modelli.

Nel BIM la presenza del modello è una condizione ontologica, cioè non si può parlare di BIM se non vi è associato un modello.

Da questa considerazione scaturisce quindi la necessità di comprendere che il modello non è da intendersi come semplice copia digitale di un edificio (da realizzare o esistente) ma come prodotto di un processo di conoscenza. Nell'accezione scientifica il modello, concreto o astratto che sia, interpreta il "fenomeno" e consente di eseguire prove e di prevedere il comportamento futuro dell'oggetto studiato.

Il "fenomeno" a cui facciamo riferimento come architetti e ingegneri è la forma che si manifesta in elementi concreti ma che per essere modellati devono prima di tutto essere tradotti ed interpretati secondo un modello astratto che è quello geometrico. Tale modello risiede primariamente nel nostro cervello in una condizione che potremmo definire instabile. L'attività di traduzione di questo modello in una forma visiva attraverso strumenti di rappresentazione grafica tende, seguendo un processo iterativo, a dare stabilità e concretezza a questo "fenomeno". In questo senso assumono un ruolo fondamentale tutte quelle applicazioni grafiche che riescono a descrivere la forma e le relazioni che si instaurano tra le diverse componenti che la caratterizzano.

Gli strumenti ed i mezzi della rappresentazione, prima ancora di assumere la funzione di linguaggio di comunicazione attraverso cui condividere con gli altri lo stesso fenomeno, hanno quindi la funzione principale di

HBIM come processo di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

coadiuvare il nostro cervello nell'elaborazione ed affinamento del modello geometrico. L'invenzione digitale dei modellatori tridimensionali ha rappresentato un vero e proprio salto antropologico perché consente in moltissimi casi di instaurare un rapporto più diretto, non filtrato, tra modello mentale e sua rappresentazione. In ambito didattico molte sono le applicazioni di geometria in cui, facendo uso della modellazione tridimensionale, si è riuscito a descrivere e a far comprendere fenomeni che nell'era analogica richiedevano un notevole sforzo mentale. Questa "semplificazione" indotta dalla modellazione tridimensionale ha determinato un cambiamento nel linguaggio attraverso cui siamo in grado di intendere e comunicare la forma. Tautologicamente un cambiamento di linguaggio ha come conseguenza un cambiamento culturale.

Il passaggio successivo, prerogativa del BIM, risiede nella capacità di interpretare il modello geometrico non solo nelle sue proprietà metrico-dimensionali ma anche attraverso le sue proprietà parametriche-adimensionali. Il modello in questo modo è in grado di configurarsi non solo come rappresentazione di un unicum ma anche come identificazione di un tipo.

Ciò, come è facile intuire, va ben oltre la definizione degli elementi costruttivi ricorrenti (le famiglie) ma riguarda anche la legge di aggregazione di questi elementi secondo codici formali che in molti casi vanno ad identificare, per l'appunto, un tipo. L'edificio esistente, nel momento in cui si riconosce la sua appartenenza ad un tipo, non deve essere modellato digitalmente come un unicum ma come emanazione architettonica di quel tipo.

Le autrici hanno evidenziato molto bene questo aspetto che caratterizza l'approccio alla modellazione BIM e nello specifico nell'HBIM. Per anni abbiamo assistito, spesso nel silenzio più assordante, a rappresentazioni di nuvole di punti etichettate come rilievi. Il ruolo dell'architetto è stato così retrocesso a semplice operatore tecnico nel momento in cui è venuta a mancare quella componente fondamentale di lettura ed interpretazione di un edificio esistente.

Allo stesso modo è fondamentale chiarire da subito che la traduzione di un "fenomeno", quale potrebbe essere un qualunque edificio, in un modello tridimensionale parametrico ed informato non è un processo meccanico, automatico o acritico ma è un'attività che prevede una forte componente interpretativa e che pertanto influisce inevitabilmente sul processo di conoscenza, implementandolo.

Su questo ultimo punto il libro di Martina Attenni e Maria Laura Rossi è molto chiaro.

Parte prima

1

Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

Nel primo ventennio del ventunesimo secolo si assiste ad un processo di mutamento economico, ecologico, organizzativo, sociale, culturale e professionale senza precedenti; una trasformazione che ha praticamente intaccato ogni settore del vivere comune e che non viene identificata come semplice evoluzione, ma come una vera e propria discontinuità di paradigma, propria soltanto di una rivoluzione. La relazione tra economia e società, i nodi complessi che legano il cambiamento culturale e istituzionale alla crescita della produttività e all'innovazione tecnologica, costituiscono oggi gli elementi centrali dello studio dei processi di industrializzazione. Una rivoluzione industriale è una combinazione di profondi mutamenti nell'organizzazione del lavoro e nelle tecnologie di produzione, tale da comportare una rinnovata modalità di concepire il mondo. Il mutamento dell'organizzazione della produzione determina profondi cambiamenti in tutta l'organizzazione

della società, poiché la posizione di un individuo nel mondo lavorativo è uno dei criteri fondamentali che ne definisce il ruolo sociale. Durante questi periodi di transizione – generalmente si tratta di decenni, ma ultimamente assistiamo ad una condensazione delle tempistiche di adattamento – molte strutture e sovrastrutture cambiano radicalmente, se ne formano di nuove e altre vanno in crisi.

Al fine di comprendere l'attuale contesto culturale, normativo e tecnico, è opportuno in questa sede sintetizzare gli eventi salienti che negli ultimi tre secoli hanno segnato, per mezzo di un rapporto causa-effetto, un balzo evolutivo nella storia dell'uomo, con particolare riguardo alle ripercussioni che le innovazioni tecnologiche hanno comportato nel campo dell'architettura: nuovi stili, nuovi sistemi costruttivi, nuove forme di rappresentazione.

L'evoluzione del sistema produttivo-industriale e le ricadute in ambito architettonico

Finora, tre sono state le rivoluzioni industriali, susseguitesi a distanza di un secolo circa l'una dall'altra. La prima ha inizio in Inghilterra tra la seconda metà del XVIII secolo e la prima del XIX, ed è caratterizzata dall'introduzione nel sistema produttivo e ferroviario della macchina a vapore e dalla nascita del cosiddetto "sistema fabbrica". L'organizzazione del lavoro si trasforma: da un impianto artigianale "orizzontale", in cui ad ogni processo produttivo viene associato un singolo bene in una sorta di continuum creativo, passa ad un assetto in cui si assiste ad una disgregazione delle attività in differenti operazioni parziali e, contemporaneamente, all'aggregazione e alla collaborazione di mestieri un tempo separati. I mezzi di produzione e la manodopera salariata vengono concentrati in un unico luogo sotto la direzione di un'unità centrale di controllo e vengono stabiliti nuovi principi di divisione del lavoro tali per

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

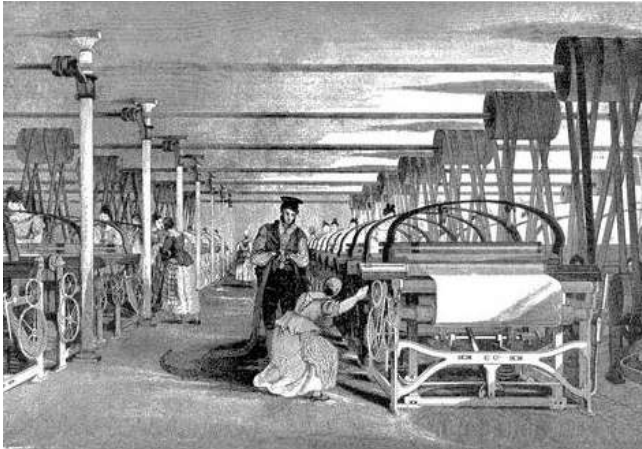


Fig. 1/ Telai tessili azionati tramite vapore, 1835 (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9430141>).

cui, all'interno dello stesso processo produttivo, si individuano delle fasi compiute e autonome (fig.1). Si sviluppa infatti una organizzazione caratterizzata dalla «standardizzazione delle procedure, dove per procedura s'intende l'evento che si presenta con regolarità nell'organizzazione e che viene legittimato da un insieme di norme e di definizioni [...] e dalla formalizzazione delle procedure e delle regole: in che misura cioè le norme ed i modelli di condotta sono previsti sono codificati e scritti, quindi sottratti per certi aspetti all'area della variabilità soggettiva»¹. Il "sistema fabbrica", dunque, interrompe la continuità individuale, personale e soggettiva del processo artigianale basandosi su una segmentazione formale "verticale" del lavoro. Volendo dare un'accezione moderna a questo approccio produttivo, potremmo dire che la suddivisione delle fasi lavorative avviene in maniera logica, ordinata e consequenziale, una modalità che potremmo definire "algoritmica". Un approccio simile comporta grandi ripercussioni in moltissimi campi: principalmente, si verifica una estensione di mercato dovuta ad una produttività portata al massimo con i costi di produzione al minimo, con una conseguente diminuzione dei prezzi di vendita e un aumento della possibilità di

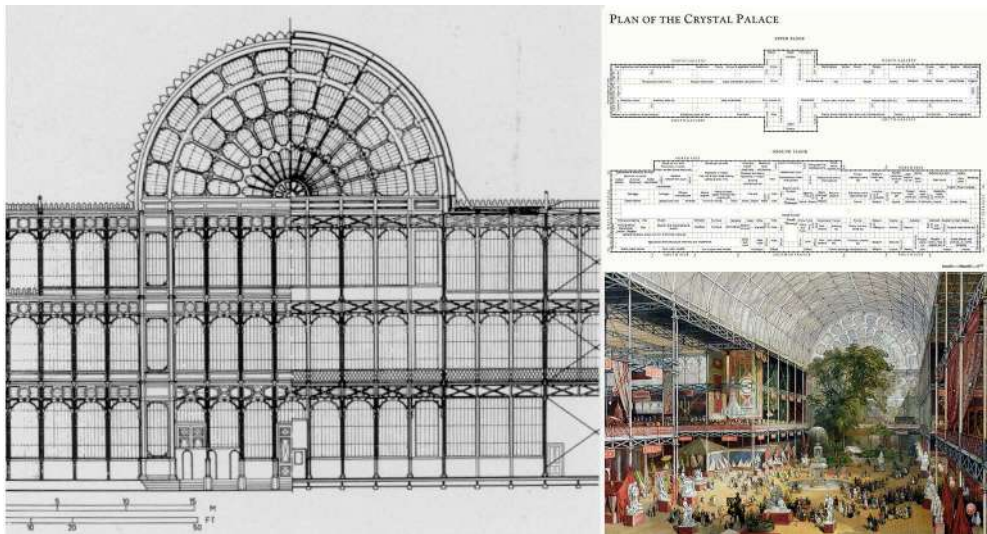
¹ Romagnoli G., Manoukian A. 1971, p.278.

acquistare beni che prima erano appannaggio solo dei ceti più abbienti. Nel campo delle costruzioni la prima rivoluzione industriale comporta una profonda innovazione grazie allo sviluppo di nuovi materiali, resistenti a trazione oltre che a compressione: il passaggio dal carbone di legna al carbon fossile e al coke nel caricamento degli altiforni rende possibile la produzione di massa del ferro e della ghisa. Si assiste dunque all'evoluzione della metallurgia e della siderurgia che consentono lo sviluppo di nuovi linguaggi architettonici consentendo la sperimentazione di tipologie costruttive che segnano la fine dell'egemonia della muratura. Si afferma la figura professionale dell'ingegnere, un tecnico "scientificamente istruito" che incarna al meglio i nuovi ideali di modernità. All'ingegnere «è demandato il compito di investire con regole, apparentemente oggettive, l'intera società, eliminando tutto ciò che è superfluo all'accrescimento del capitale [...] egli tende a sostituire interamente l'architetto, sia per poter ottenere un maggiore risparmio sulla progettazione, sia per poter esercitare un controllo totale sull'opera»². Relegando l'architetto al ruolo dell'artista, l'architettura diventa di fatto competenza esclusiva dell'ingegnere «e sono sempre e solo le esigenze della produzione ad indirizzare il progetto [...] in favore di un'architettura prefabbricata, libera da ogni orpello o spesa superflua che sarebbe stata imposta inevitabilmente da una qualsiasi mediazione architettonica»³. Il fermento culturale stimola molte applicazioni sperimentali, molte delle occasioni di confronto sono da rintracciarsi nelle Esposizioni Universali, vetrine del progresso culturale e tecnico dell'epoca. In occasione della prima di queste, nel 1851 a Londra viene presentato ad opera dell'ingegnere costruttore di serre Joseph Paxton, il Crystal Palace, il primo prototipo di edificio realizzato attraverso l'uso di elementi prefabbricati, modulari, per

² Morandi M. 1972, p.41.

³ Morandi M. 1972, p.47,49.

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale



i quali anche l'artigianalità della posa in opera è ridotta al minimo grazie all'approccio "verticale" (algoritmico) dell'organizzazione del cantiere. I nuovi elementi strutturali sono più leggeri ed economici e si caricano di valore solo in relazione al loro aspetto funzionale: l'estetica dell'architettura moderna non è più nella decorazione sovrapposta alla struttura, ma è nella struttura stessa. Sul finire dell'Ottocento, questa nuova concezione di architettura in quanto struttura si sviluppa in una corrente architettonica denominata razionalismo strutturale che affonda le sue radici ideali nella romanità, in particolare nel trattato *De Architectura* di Vitruvio, nel Rinascimento e nelle teorie di Leon Battista Alberti e nell'insegnamento di impronta illuminista di Viollet Le Duc, sintetizzato dal motto «nulla è bello in architettura, tranne il vero»⁴ (fig.2).

La seconda rivoluzione industriale inizia principalmente in Germania e negli Stati Uniti tra la fine del XIX secolo e i primi quindici anni del XX. Le innovazioni tecnologiche in campo industriale determinano una netta soluzione di continuità con il passato, sia in ambito produttivo che in campo architettonico. Sono

Fig. 2/ Il Crystal Palace; (a) <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1685964>; (b) <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=543293>; (c) <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=665739>.

⁴ Nel 1875, dalle pagine de *L'Emulation*, la rivista dell'Associazione centrale d'architettura del Belgio, Ernest Allard affermò: «nulla è bello in architettura, tranne il vero», che rimanda a un passo degli *Entretiens sur l'architecture* di Eugène Viollet-le-Duc, pubblicati tra il 1863 e il 1872: «in architettura esistono due condizioni di verità necessarie: la verità rispetto al programma e quella rispetto ai metodi costruttivi [...] i problemi puramente artistici legati alla simmetria e alla forma apparente sono solo condizioni secondarie di fronte ai nostri principi dominanti».

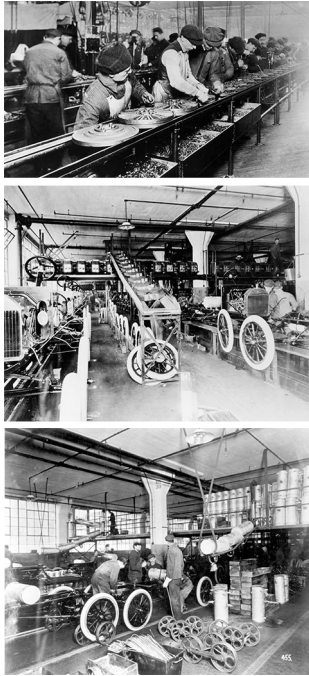


Fig. 3/ Applicazione del modello Taylor all'interno delle fabbriche Ford; (a) https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Assembly_lines?uselang=it#/media/File:Ford_assembly_line_-_1913.jpg; (b) <https://www.0-100.it/ford-1913-2013-100-anni-dalla-prima-catena-di-montaggio/>; (c) <https://www.flickr.com/photos/thehenryford/4974260119>.

disponibili nuove fonti di energia: in sostituzione del carbone vengono sfruttati il petrolio e l'acqua, che danno vita al motore a scoppio e a quello idroelettrico. Essi comportano importanti cambiamenti in termini di organizzazione del lavoro, con la nascita delle catene di montaggio e il conseguente fenomeno della produzione di massa. Un grande contributo in tal senso venne offerto dall'ingegnere americano Frederic Winslow Taylor e dal suo volume *The principles of Scientific Management*, pubblicato nel 1911 e applicato compiutamente dall'industriale capitalista Henry Ford nei propri stabilimenti nel 1913. Il modello produttivo, da allora conosciuto come "taylorismo-fordismo", prevede la completa separazione fra la programmazione del lavoro e l'esecuzione delle attività, contempla la scomposizione del processo lavorativo in mansioni sempre più elementari e parcellizzate (che in seguito daranno luogo al fenomeno dell'alienazione dell'individuo), dispone l'assunzione da parte della direzione di ogni potere decisionale per garantire il massimo coordinamento delle fasi produttive strutturando, di fatto, una piramide gerarchica lavorativa e sociale (fig.3). Quella del primo Novecento, quindi, non è più una società antropocentrica ma una società della macchina, nella quale l'individuo ha valore solo se relazionato al suo apporto produttivo. A questo cambiamento socio-economico consegue inevitabilmente anche un cambiamento nella concezione dell'architettura. L'ispirazione per la costruzione degli edifici, della città e del mondo nuovi, deriva dagli elementi dell'industria: «come gli antichi trassero l'ispirazione dell'arte negli elementi della natura, noi – materialmente e spiritualmente artificiali – dobbiamo trovare quell'ispirazione nel nuovissimo mondo meccanico che abbiamo creato, di cui l'architetto deve essere la più bella espressione, la sintesi più completa, l'interpretazione artistica più efficace»⁵ (fig.4). Il tema della relazione col mondo della produzione meccanizzata rimane centrale fino alla fine degli anni Trenta, so-

⁵ Sant'Elia 1914. Il testo viene diffuso su volantino l'11 luglio 1914, oggi è integralmente consultabile in De Benedetti M., Pracchi, A. 1988.

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

prattutto in Germania e nelle opere di Le Corbusier: la macchina è il mezzo per definire i contenuti della progettazione architettonica a fronte di una società in veloce mutamento. L'inizio del XX secolo, dunque, è segnato da queste consapevolezze: l'evoluzione della meccanica è tale da consentire la sostituzione dell'uomo nella fatica, predomina nel lavoro di fabbrica con l'organizzazione taylorista, è simbolo indiscusso del concetto di modernità. La macchina è la creazione dell'uomo, la massima dimostrazione della sua abilità: è organizzata secondo principi perfettamente razionali, quindi perfettamente comprensibili; la sua regola fondamentale è la geometria che, mentre nella natura è solo riconoscibile, nell'architettura esprime la sua più pura manifestazione⁶. La nascita di una nuova poetica architettonica – International Style negli USA, Movimento Moderno in Europa – è incoraggiata certamente anche dai problemi sociali legati alla fine del primo conflitto mondiale e alla necessità di ricostruzione rapida e di utilizzo "razionale" dello spazio: l'atteggiamento lineare, essenziale ed economico proprio dell'ambito produttivo e della società industriale viene traslato in tutti i campi dell'architettura civile, soprattutto a quello dell'abitare. Il *Modulor* di Le Corbusier (fig.5) è l'esito di un mutamento culturale, «una gamma di misure armoniose per soddisfare la dimensione umana, applicabile universalmente all'architettura e alle cose meccaniche». Questo processo di rinnovamento è ulteriormente supportato dall'utilizzo di nuovi materiali e sistemi costruttivi: gradualmente, l'acciaio prodotto per mezzo dell'elettricità, comincia a sostituire il ferro che, impiegato in tondini all'interno delle colate di calcestruzzo, rivoluziona nuovamente i sistemi costruttivi e consente di liberare sia gli spazi interni alla pianta che alleggerire le facciate. L'opera architettonica emblema della soluzione abitativa in cemento armato è l'UnitÉ d'Habitation, grande



Fig. 4/ Le rappresentazioni di Antonio Sant'Elia. In alto *La centrale elettrica*, 1914 ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antonio_sant%27elia,_centrale_elettrica,_1914_\(coll._priv.\)_01.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antonio_sant%27elia,_centrale_elettrica,_1914_(coll._priv.)_01.jpg)); in basso *Studio per edificio*, 1914 ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antonio_sant%27elia,_studio_per_edificio,_1914_\(coll._priv.\)_jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antonio_sant%27elia,_studio_per_edificio,_1914_(coll._priv.)_jpg)).

⁶ «Se noi diciamo con certezza: la natura è geometrica, non è perché noi l'abbiamo visto; noi l'abbiamo riconosciuto; a dire il vero, noi l'abbiamo deciso conformemente al nostro sistema. [...] La geometria, strumento che è nostro, [...] che è il solo nostro strumento di misura degli eventi e delle cose [...] è la nostra più grande creazione» (Le Corbusier 1925).

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

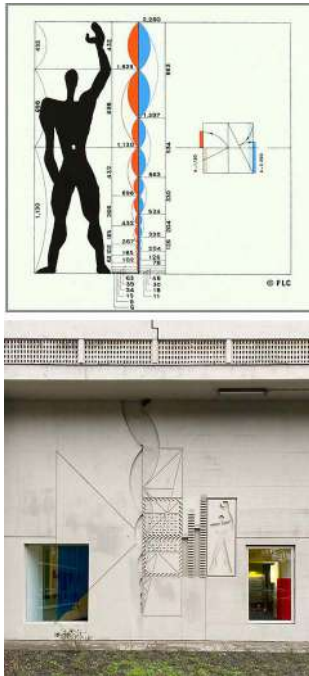


Fig. 5/ Gli studi di Le Corbusier sul rapporto tra le proporzioni del corpo umano e le dimensioni dell'architettura. In alto *Le Modulor 2* (1955), la scala di misurazione basata sulle proporzioni della figura umana (<https://www.thewaymagazine.it/design-of-desire/larchitettura-a-misura-duomo-il-modulor-rinato-con-connessioni/>); in basso la sua impronta sul fronte cementizio dell'Unité des Habitations di Marsiglia, 1947-1952, (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corbusierhaus_facade.jpg).

edificio ideato da Le Corbusier proprio per sopprimere alla mancanza di abitazioni a Marsiglia dopo il conflitto mondiale (fig.6).

La terza rivoluzione industriale occupa la seconda metà del Novecento e si riferisce agli incredibili processi tecnologici dati dall'elettronica e dalle telecomunicazioni che danno vita ad un processo chiamato *Knowledge Economy*: con la globalizzazione non vi è più import ed export soltanto degli *output* del processo produttivo, le merci, ma anche degli *input*, le tecniche e il sapere che vi sono dietro i processi stessi. Le cosiddette ICT (Information Communication Technology) in uso in questo periodo vengono applicate in tutti i campi produttivi. L'aumento del contenuto tecnologico e della precisione delle macchine utensili determina una quasi totale svalutazione delle conoscenze operaie impiegate nella parcellizzazione del lavoro, comportando una crisi definitiva del modello taylorista-fordista. La manodopera è impegnata in attività dal minore contenuto fisico ma, al contempo, all'operaio si richiede una maggiore consapevolezza teorico-scientifica delle proprie azioni per lo svolgimento delle quali è necessario un livello di istruzione maggiore. Nell'ambito del processo produttivo si afferma la chimica e l'utilizzo delle materie plastiche derivate dal petrolio. Come nelle rivoluzioni precedenti si verifica un evento, nel secondo dopoguerra, che cambierà per sempre non solo i processi di produzione ma la concezione che l'individuo ha del lavoro e del mondo: l'invenzione del calcolatore. Esso nasce, come la maggior parte delle innovazioni tecnologiche, in ambito militare: il primo elaboratore automatico viene costruito dall'università della Pennsylvania per supportare l'esercito degli Stati Uniti nei calcoli balistici; tuttavia, gli aspetti innovativi che ne hanno permesso la diffusione in altri ambiti riguardano la possibilità di programmare determinate operazioni e la capacità autoadattiva

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale



Fig. 6/ L'Unité des Habitations di Marsiglia (1947-1952) di Le Corbusier. A sinistra un'immagine dell'edificio ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corbusierhaus_\(Berlin\)_\(6305809373\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corbusierhaus_(Berlin)_(6305809373).jpg)); a destra le fotografie del cantiere (<https://nara.getarchive.net/media/le-corbusier-experimental-housing-project-marseille-7691d2>) e di un interno (<https://nara.getarchive.net/media/le-corbusier-experimental-housing-project-marseille-0fe186>).

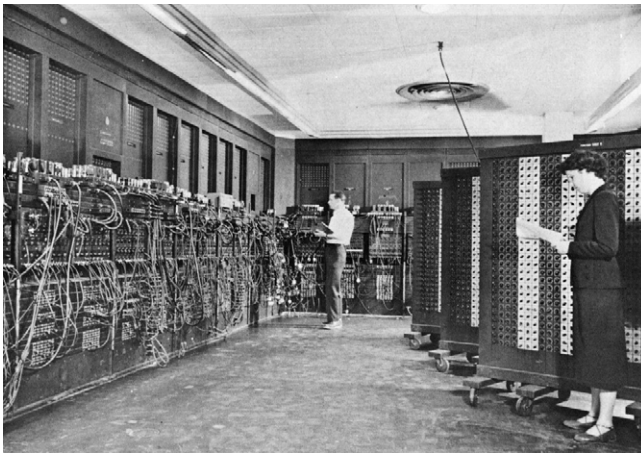


Fig. 7/ Betty Snyder (in primo piano) e Glen Beck (in sullo sfondo) che programmano l'ENIAC (Electronic numerical integrator and computer) nell'edificio 328 presso il Ballistic Research Laboratory (BRL) di Philadelphia, Pennsylvania (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=55124>).

in risposta all'errore (fig.7). A metà degli anni Cinquanta il suo utilizzo viene introdotto nelle aziende mediante i sistemi CAM (Computer Aided Manufacturing) che consentono la gestione a distanza delle macchine a controllo numerico. La tecnologia della terza rivoluzione industriale evolve in potenza quanto regredisce di dimensione, ad esempio dalle rudimentali schede perforate di programmazione si è passato negli anni Settanta al floppy disk fino ad arrivare nei tempi moderni al microchip. È l'era dell'elettronica, dell'informatica, delle telecomunicazioni: il computer introduce l'automazione dei processi e, negli anni Novanta, internet consente la condivisione di questi stessi processi. L'integrazione di

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 8/ Il Centre Georges Pompidou di Parigi progettato da Renzo Piano, Richard Rogers e Gianfranco Franchini e inaugurato nel 1977 (<https://www.flickr.com/photos/dalbera/5390906463>).



componenti industriali e tecnologici ad alte prestazioni entra in modo preponderante anche in ambito edilizio con il movimento architettonico high-tech che si sviluppa tra gli anni Sessanta e Settanta con la volontà di dimostrare quanto la tecnologia possa migliorare il mondo. Il Centre Pompidou di Piano e Rogers (fig.8) è l'esemplificazione di una nuova concezione dell'edificio, che si sviluppa contemporaneamente ad altre correnti architettoniche che fanno del calcolatore un uso rivoluzionario, spingendo la progettazione architettonica oltre i limiti delle forme e delle strutture finora investigate.

All'alba del XXI secolo, a meno di mezzo secolo dall'ultima rivoluzione, assistiamo ad un nuovo stravolgimento: il motore principale di quella che viene definita industria 4.0 è il digitale pervasivo, l'insieme di diverse tendenze tecnologiche, internet e spazio *cloud*, *big data*, intelligenza artificiale/aumentata, *machine learning*, che impattano fortemente su tutti gli aspetti del vivere umano. In questa rivoluzione è possibile riscontrare alcuni aspetti metodologici introdotti dalla prima, in particolar modo l'applicazione di un approccio scientifico e analitico alla conoscenza tecnologica. Le conoscenze detenute dagli artigiani, applicate secondo un sistema

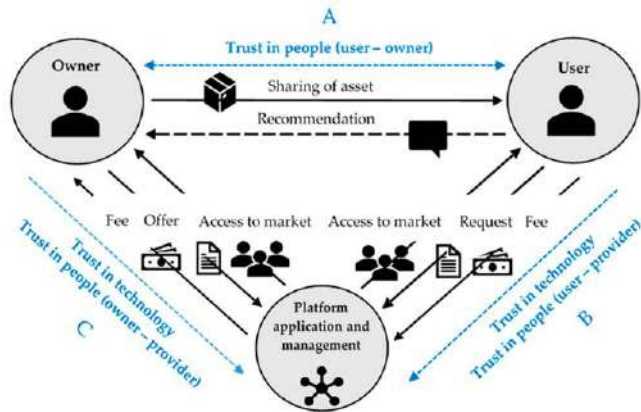
1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

produttivo pre-industrializzato definito orizzontale, trasmesse per esperienza diretta dal mastro all'apprendista, iniziano ad essere analizzate, sistematizzate secondo un ordine logico consequenziale e, infine, codificate. La trasmissione orale costituiva una conoscenza a posteriori, insita nella pratica e nella sperimentazione diretta, riservata ad un pubblico ristrettissimo, specializzato e influenzato da tradizioni locali. La codifica della conoscenza proposta dal "sistema fabbrica", invece, conduce ad un profondo cambiamento anche nelle modalità e nei modelli di trasmissione e di conservazione della conoscenza stessa, diffusa e appresa in maniera estremamente più rapida, efficace e meno costosa. Si abbandonano la tradizione orale e l'interazione diretta, il sapere viene esplicitato prima nei libri con formule e codici e poi negli elaboratori elettronici attraverso linguaggi di programmazione. Le tecnologie della quarta rivoluzione industriale codificano il codificabile e utilizzano strumenti digitali, trasformando tutto ciò che deve essere appreso in *digit*, ovvero in numeri. Diversamente dalle altre rivoluzioni industriali, questi cambiamenti si sviluppano con una velocità e con una intensità non più lineare ma esponenziale, grazie alla combinazione di nuove soluzioni e tecnologie sempre più performanti. In questo processo di iper-automazione e iper-connettività si sviluppano nuovi sistemi produttivi e nuovi processi gestionali, tra cui la cosiddetta "economia collaborativa", la *Sharing Economy*, un sistema socio-economico nuovo caratterizzato dal presupposto della condivisione in tempo reale, della fiducia e della relazione che si esprime in un rapporto tra pari, mediato da una piattaforma digitale.

Nel settore delle costruzioni questo fenomeno è associato ad un processo oggi noto come BIM (Building Information Modeling): un insieme di tecnologie, processi e metodi che permettono a diversi

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 9/ Schematizzazione del modello di business della *Sharing Economy* arricchito con legami di fiducia (<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/23/6838/htm>).



individui coinvolti nel processo edilizio di svolgere il proprio ruolo all'interno di un database virtuale, condiviso e collaborativo, multiscalare e multidimensionale, nel quale si fonde l'aspetto dell'Information con la modellazione tridimensionale dell'edificio. È su quest'ultimo aspetto che si sviluppano numerose interpretazioni, che di fatto estendono il ruolo del BIM da mero contenitore a vero e proprio metodo a supporto di una economia circolare (fig.9). Lo scopo del BIM è la gestione del processo edilizio in tutti i suoi aspetti per tutto il ciclo di vita di un'opera architettonica: dalla progettazione, alla costruzione, al funzionamento, fino alla dismissione, riuso e riciclo. La sua introduzione nel settore delle costruzioni non comporta stravolgimenti in termini tecnico-costruttivi, né rivoluziona le modalità di aggregazione di forme, componenti e funzioni. Il suo più grande apporto risiede nella gestione del processo progettuale a monte delle operazioni di costruzione e nel monitoraggio dell'opera durante il suo esercizio. È però su quello che accade alla fine del ciclo di vita di un edificio che si sta ponendo molta attenzione proprio in questi anni. Alcuni dati Eurostat⁷ del 2016 riportano che il settore delle costruzioni, in Europa, è responsabile del 40% del consumo energetico, del 36% delle emissioni di gas climalteranti e del 33%

⁷https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Statistiche_sull'energia_rinnovabile&oldid=430506

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

dei rifiuti totali generati da tutte le attività economiche connesse con le attività di costruzione, utilizzo, ristrutturazione e demolizione. La digitalizzazione dell'edilizia, assieme alle politiche di efficienza energetica, appalti verdi e comunità energetiche rinnovabili mirano ad accelerare il processo di decarbonizzazione dell'economia entro il 2050. Sulla base di queste iniziative, a gennaio 2021, la Commissione Europea ha presentato un documento dal titolo *Industry 5.0 – Towards a sustainable, human-centric and resilient european Industry*. Assistiamo dunque, nuovamente, ad un cambio di approccio sostanziale. Tuttavia, ogni rivoluzione industriale è caratterizzata da un cambio di paradigma legato ad innovazioni tecnologiche e/o cambi nel processo produttivo. La rivoluzione 5.0, invece, si pone in continuità con la quarta rivoluzione industriale, mantenendo tecnologie, tecniche e processi ma cambiando le intenzioni e l'approccio e identificandosi così come un completamento della rivoluzione precedente. L'Industria 5.0 può essere considerata una rilettura della rivoluzione del digitale in chiave antropocentrica, una ri-umanizzazione della corsa all'automazione. Il benessere del lavoratore torna al centro del processo di produzione che usa le nuove tecnologie per fornire prosperità, posti di lavoro e crescita, rispettando però i limiti di produzione del pianeta. Dopo la prima industrializzazione definita dalla meccanizzazione attraverso la forza del vapore, la seconda caratterizzata dall'energia elettrica e la produzione di massa, la terza segnata dal computer e dai processi automatici, la quarta basata sulla digitalizzazione e su sistemi *cyber-fisici* connessi attraverso internet, la quinta sfrutta la collaborazione tra sistemi sempre più intelligenti e performanti e il potenziale creativo unico dell'individuo, favorendo un'interazione virtuosa tra uomo e macchina, bilanciando lo sviluppo economico con la mitigazione dei problemi sociali e

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

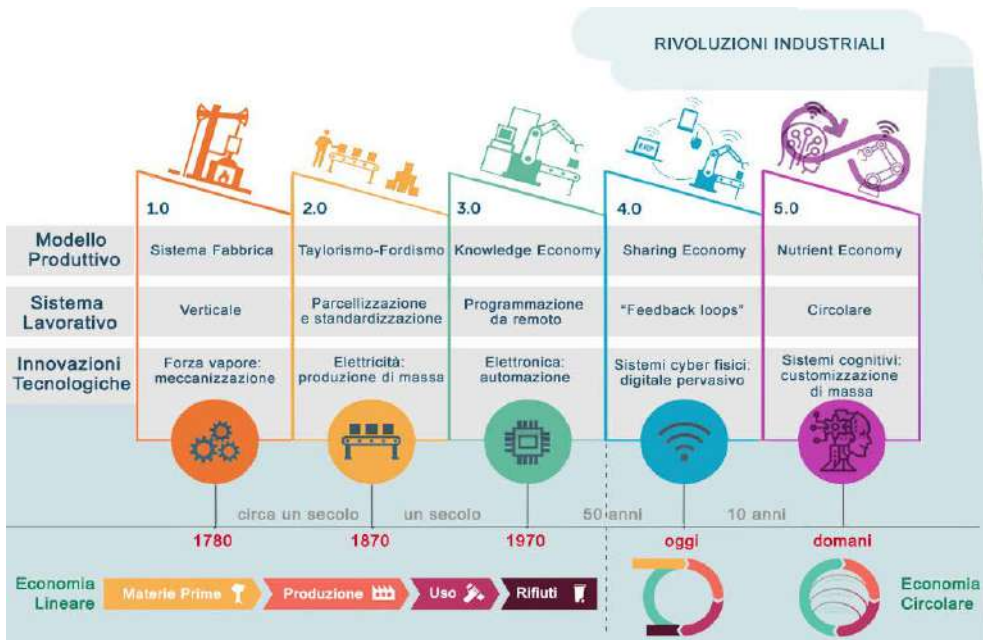


Fig. 10/ Schematizzazione dei modelli produttivi economici e delle innovazioni tecnologiche nel susseguirsi delle rivoluzioni industriali.

ambientali⁸ (fig. 10). Diversamente dal BIM dell'Industria 4.0, che si relaziona con tutto ciò che fa da quinta scenografica al progetto di architettura, quello dell'Industria 5.0 indirizza la progettazione verso scelte sostenibili, prediligendo ad esempio materiali riciclati e riciclabili per limitare il consumo di materie grezze e ridurre la produzione di rifiuti, oppure promuovendo sistemi costruttivi snelli, basati su processi di prefabbricazione modulare così da facilitare il disassemblaggio, la sostituzione e lo smaltimento di un singolo elemento o di tutto l'edificio.

⁸ Coerentemente con tutto ciò, nel settore delle costruzioni, il BIM recepisce le politiche del suo tempo e dedica una delle sue "dimensioni" alla sostenibilità ambientale. Il processo multidimensionale del BIM consente di gestire gli oggetti digitali superando la terza dimensione: vengono considerati la gestione del tempo (4D), i costi (5D), il Facility Management (6D) per la gestione dei manufatti, e il Green (7D) connesso alla sostenibilità e alla gestione energetica del fabbricato.

La standardizzazione di processi e delle componenti, la ricerca di matrici geometriche regolari, l'utilizzo di elementi costruttivi modulari e seriali – già presenti nella seconda rivoluzione – si ripropongono con forza, calzando oggi le vesti della sostenibilità. Segno tangibile della rinnovata adozione di approcci progettuali è l'integrazione all'interno dei processi BIM delle richieste dei protocolli olistici di certificazione di sostenibilità (LEED, BREEAM, WELL, per citarne

alcuni). Tali protocolli, che dovrebbero intervenire a valle della progettazione esecutiva essendo strumenti verificatori e assegnatori di punteggi, entrano di fatto nell'iter progettuale già dalle primissime fasi di pre-fattibilità in un'ottica di ottimizzazione di risorse, tempi e costi. Sfruttando a pieno il flusso circolare di simulazione-verifica-convalida su cui il BIM si fonda, è possibile prevedere l'esito della certificazione se non addirittura calcolare preventivamente i crediti che verranno assegnati. In conclusione, con il cosiddetto "Green BIM" dell'Industria 5.0, assistiamo ad una implementazione dei processi gestionali su base tecnologica digitale e ad un mutare del fare architettura che si influenzano vicendevolmente seguendo un flusso di causa-effetto non più lineare ma ciclico, grazie alla simulazione virtuale del comportamento dell'edificio reale.

Le innovazioni tecnologiche e i modelli per l'architettura

La scia dei cambiamenti dettati da un nuovo approccio basato sulle tecnologie digitali ha coinvolto pienamente il settore della costruzione di modelli per l'architettura. Sul tema del modello alcune definizioni risultano sostanziali per comprenderne le accezioni esclusivamente riferite all'ambito della rappresentazione: «il termine "modellazione" indica propriamente un processo atto a definire una qualsiasi forma tridimensionale in uno spazio virtuale generata su un computer. Il termine "modellizzazione" è invece sotteso a quel processo cognitivo che porta alla costruzione di un modello»⁹. L'implicazione intellettuale insita nella seconda terminologia ben interpreta il ruolo di strumento analitico che il modello assume all'interno della struttura di un processo metodologico. «Un modello, al pari delle altre forme di rappresentazione, è uno schema con chiari codici capaci di confermare la distanza rispetto alla

⁹ Marotta A., Lo Turco M. 2014, p.55.

realizzazione, e tuttavia uno strumento atto a sviluppare una similarità conoscitiva. La modellazione è dunque una strategia conoscitiva in cui gioca un ruolo decisivo l'idea di similarità rispetto alla realtà che viene sfruttata in modi differenti a seconda del tipo di modello che si va a realizzare»¹⁰. Il modello di architettura fonda dunque le sue ragioni d'essere e il suo scopo in un atto profondo di conoscenza esplicitato in un ambiente virtuale. Tuttavia, nonostante un ambiente digitale di modellazione possa sembrare connesso con la modernità tecnologica, lo studio dell'architettura per mezzo di modelli non è poi una novità. Sin dai tempi antichi, infatti, l'architettura si confronta tanto con la solidità dei suoi manufatti, quanto con la registrazione e la trasmissione dei codici in essi contenuti, seppure con approcci completamente diversi da quelli dei nostri giorni. Nell'antichità, la figura dell'architetto era associata a quella di capo cantiere, il cui compito consisteva principalmente nel dirigere la costruzione di un edificio; nel corso del Medioevo, invece, il suo ruolo ha anche delle ricadute sociali: gli artisti, che praticano le arti meccaniche, sono considerati un gradino più in basso nella scala socio-culturale rispetto ai matematici o ai letterati, che praticano le arti liberali. Con il Rinascimento gli architetti rivendicano la loro "parte liberale" affinché si riconosca valore intellettuale alla fase ideativa progettuale, che governa gli esiti della fase esecutiva. Dunque, se l'opera dell'architetto è un'attività mentale, è anche traducibile in una serie di norme e codici che possono essere registrati e trasmessi¹¹. In questo periodo si sviluppano diverse tipologie di modelli per architettura: vastissimo è l'impiego di modelli plastici di grandi dimensioni, solitamente lignei, utilizzati per presentare il progetto alla committenza e mostrare l'opera che sarebbe stata effettivamente costruita; in questo caso il modello è reale e tangibile, e si

¹⁰ Carpo M. 1998, p.17.

¹¹ Gaiani M. 2004, p.47.

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

presenta ad una scala ridotta ma appropriata per la comunicazione di principi compositivi ed eventuali dettagli scultorei. Ancor più del modello fisico, impera il modello teorico come *corpus* normativo che, oltre ad essere prettamente usato nell'ambito della rappresentazione prospettica per regolare le composizioni pittoriche, ha importantissime ricadute anche nell'approccio alla progettazione architettonica. I manufatti tendono ad essere costruiti sulla base di elementi regolari che sono, al contempo, oggetto e misura dell'architettura. Il ritmo, la misura, il modulo, sono concetti che vengono rafforzati dall'utilizzo di elementi chiaramente individuabili e dal forte segno espressivo: la colonna, il capitello, l'arco a tutto sesto. Sono questi gli elementi che definiscono l'ordine architettonico e le regole proporzionali, le norme che guidano l'architetto nella progettazione e che si diffondono ben presto in tutta Europa grazie ad una grande innovazione tecnologica: la stampa. La rappresentazione della forma architettonica nei trattati rinascimentali traduce l'attività intellettuale dell'architetto in un modello grafico rigoroso, in pianta, in alzato o in prospettiva, svincolato da stili locali legati alle abilità delle maestranze. L'alba della modernità è dunque segnata dall'allontanamento dell'esperienza diretta dell'architettura: se ne esalta la dimensione progettuale virtuale grazie a modelli grafici fondati su sistemi di regole che rivoluzionano definitivamente la divulgazione del sapere, da sempre affidata alla trasmissione orale e alla produzione amanuense, con l'obiettivo di «costruire un linguaggio condivisibile, imbrigliando con la ragione geometrica forme che originariamente erano in continuo mutamento [...], contribuendo allo sviluppo di metodi di rappresentazione privi di ambiguità»¹². Durante la Rivoluzione Industriale il modello viene inteso come strumento per la simulazione e la gestione delle catene dei processi produttivi. Il modello

¹² Dotto E. 2011, p.14

“diagramma” facilita la suddivisione del lavoro secondo una logica ordinata di passaggi semplici, consequenziali, finiti e ripetuti, che può svolgere una macchina al posto dell’uomo. Il “sistema fabbrica” sostituisce la figura dell’artigiano sia come creatore dell’oggetto fisico, sia come detentore della conoscenza a monte del processo creativo. L’approccio progettuale rivolto all’oggettività e alla serialità viene codificato e trascritto nei regolamenti e nei manuali costruttivi¹³ affinché il progettista abbia a disposizione soluzioni, abachi e componenti universalmente condivisi. Il manuale funzionalista di metà Novecento si differenzia dalla trattatistica cinquecentesca: ruota attorno ai concetti di misura e non di modulo, di dimensione e non di proporzione, di soluzione e non di variazione. Propone una gamma di opzioni progettuali piuttosto rigide e “a misura d’uomo” perché sono i bisogni dell’individuo che si necessita soddisfare, ed è l’abitazione con le prestazioni minime che si vuole progettare¹⁴. Il mondo della progettazione, dopo secoli di rappresentazioni analogiche, vive un momento di grande trasformazione con l’ascesa della grafica computerizzata. Agli inizi degli anni Sessanta un gruppo di ricercatori del MIT sviluppa il primo sistema di disegno elettronico interattivo della storia della figurazione, il progetto *Sketchpad*¹⁵. La ricerca mira alla definizione di uno strumento in grado di assistere l’uomo nel processo progettuale senza però interferire mai – perché non lo si ritiene possibile neanche in un lontano futuro – con l’attitudine critica e decisionale dell’operatore. L’interazione uomo-macchina quindi si limita al ruolo utilitaristico dell’elaboratore che segue ed esegue la fase ideativa dell’individuo. La grafica computerizzata interattiva IGC (Interactive Computer Graphics) diviene la tecnologia alla base della realizzazione dei sistemi CAD (Computer Aided Design)¹⁶ che in quegli anni, però, solo le grandi aziende possono

13 In Italia è la casa editrice milanese Hoepli a pubblicare, tra la fine dell’800 ed i primi del ’900, una serie di agili manuali destinati sia a specialisti che a dilettanti, principalmente dedicati alle attività artigianali ed industriali applicate. La vera rivoluzione nel settore della manualistica di architettura si registra in Germania, ad opera di Ernst Neufert il cui lavoro, *Enciclopedia pratica per progettare e costruire* (1936), si può considerare ancora oggi come il modello di ogni manuale tecnico di architettura.

14 «Al centro dell’attenzione ci sono l’uomo con le sue misure antropometriche, i sistemi costruttivi con le loro leggi della scienza delle costruzioni e della tecnologia dei materiali e gli standard urbanistici con i vari sistemi di quantificazione e zonizzazione. [...] nel processo progettuale venivano prima studiate le funzioni, che solo in seguito erano aggregate in opportune configurazioni» (De Luca L. 2006. p.22).

15 Sutherland I.E. 1963, Mingucci R., Garagnani S., Cinti Luciani S. 2012, Sdegno A. 2013.

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

permettersi. In particolare, il settore della meccanica automobilistica e aeronautica sente l'esigenza di programmare la lavorazione a controllo numerico degli stampi per le complesse geometrie delle carrozzerie dei veicoli attraverso la manipolazione di curve e superfici polinomiali¹⁷. Nonostante le limitate funzionalità e gli alti costi, i sistemi CAD permettono di rappresentare geometrie vettoriali con precisione millimetrica, velocità di modifica, abbattimento dei tempi nelle operazioni ripetitive, ottenendo un efficientamento nel processo di costruzione della forma in qualche modo analogo a quello ottenuto con le catene di montaggio del "sistema fabbrica". L'attitudine alla costruzione della forma geometrica rimane metodologicamente invariata ma l'informatica assiste la sua progettazione. Cambiano il concetto di scala della rappresentazione, che non necessita più di operazioni di riduzione dettate dal supporto cartaceo, e la struttura numerica del dato geometrico, inserito all'interno della memoria del calcolatore con una precisione analitica¹⁸ dettata dalla perfetta corrispondenza tra spazio fisico e spazio virtuale, universi paralleli messi in comunicazione dallo schermo/monitor¹⁹.

Dagli anni Settanta l'evoluzione della rappresentazione informatica segue due filoni paralleli. Il primo punta ad incrementare gli strumenti e i vantaggi del disegno assistito tramite l'utilizzo di blocchi per la creazione di oggetti autonomi, la strutturazione delle informazioni per livelli logici (*layer*)²⁰, il sistema di etichette, quote, ecc. Il secondo, ad appannaggio prevalentemente di matematici, si sviluppa nell'ambito della rappresentazione tridimensionale di curve e superfici complesse che, a partire da una modellazione esclusivamente poligonale, condotta per mezzo di superfici mesh descritte da coordinate di punti/vertici, sfocia nella definizione delle NURBS che descrivono l'oggetto come un reticolo elastico

16 L'acronimo CAD computer Aided Design inteso alla lettera dovrebbe abbracciare tutte le attività di progettazione sviluppate con l'aiuto di programmi informatici, ma vista l'evoluzione degli strumenti ha acquistato una connotazione prevalentemente geometrica. Per sottolineare le funzioni più specificamente progettuali sviluppate successivamente sia in 2D che in 3D si è adottato il termine CAAD (Computer Aided Architectural Design).

17 Cinti Luciani S., Migliari R. 2013.

18 Mingucci R., Garagnani S., Cinti Luciani S. 2012.

19 Bianchini C. 2007, p.309.

20 Bjork B. C., Lownertz K., Kiviniemi A. 1997.

modificabile senza discontinuità nella curvatura e nell'orientamento. La modellazione solida o CGS (Constructive Solid Geometry), ovvero il prodotto dell'interazione di geometrie primitive che attraverso operazioni di addizione, sottrazione e intersezione danno luogo a geometrie più complesse, in un primo momento, stenta ad affermarsi in architettura. Ciò avviene a causa della grande mole di calcoli richiesta all'elaboratore non solo per definire le superfici, ma anche per gestire i concetti di volume, di massa e di quantità. Per avere una piena diffusione dei sistemi CAD si dovranno attendere gli anni Ottanta e l'affermazione sul mercato dei Personal Computer. Negli anni Novanta la progettazione nel mondo manifatturiero passa gradualmente dai disegni tecnici bidimensionali alla modellazione tridimensionale del progetto. Essa sfrutta la capacità dell'elaboratore di immagazzinare, e quindi di imparare, i processi "invarianti" nella costruzione delle forme, conservando la sequenza delle operazioni, e la competenza dell'operatore nello stabilire, invece, quali siano le "varianti". Questo passaggio è fortemente aiutato dalla nascita di una nuova generazione di software basati su concetti innovativi: modelli solidi descritti parametricamente e costruiti secondo una logica associativa. I concetti di "parametro" e "associazione" applicati nei modellatori tridimensionali hanno le loro radici nei concetti di modulo, proporzione e ripetizione, propri della trattatistica classica. Essi, ciclicamente riportati in auge da studiosi, matematici, artisti, progettisti, sono da sempre alla base della rappresentazione dell'architettura. I "nuovi" modelli, caratterizzati da possibilità di progettazione e gestione della forma impensabili fino a qualche anno fa e definiti da un processo ben preciso, si trovano negli stessi anni a confrontarsi con un'altra novità che permette la diffusione del sapere tra le comunità scientifiche: internet²¹.

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

Proprio questo approccio di condivisione del sapere, insieme alla concezione parametrica-associativa della modellazione tridimensionale sono alla base delle odierne metodologie BIM. L'avvento dei modellatori parametrici ha portato a sostituire le entità geometriche dei sistemi CAD, basate su coordinate e prive di connotazioni specifiche, con elementi legati ad una determinata disciplina progettuale. I modelli parametrici, introdotti nell'ambito della progettazione architettonica negli anni Duemila, non hanno più il solo scopo di costruire forme tridimensionali, ma mirano alla definizione delle relazioni associative tra gli elementi che individuano la forma stessa; una forma non statica ma pluridirezionale che consente la previsione, la simulazione e la valutazione critica non soltanto del manufatto progettato ma, più in generale, della versione migliore dello stesso. Alla base di questo rivoluzionario cambio di approccio nel campo della modellazione architettonica vi è certamente una congiuntura di evoluzioni tecniche, tecnologiche e metodologiche, rafforzate dall'utilizzo di piattaforme digitali che lavorano nello spazio virtuale condiviso in *cloud*. La forma non è più determinata a priori, legata agli stilemi della manualistica ottocentesca o a delle funzioni standard come nel caso della produzione in serie, ma cambia e si perfeziona durante un processo di costruzione ottimizzato dalle interazioni dinamiche tra gli elementi.

La modellazione parametrica, algoritmica e associativa

I paradigmi di modellazione parametrica utilizzati nella definizione di forme architettoniche nel campo della progettazione, sono forse meno noti nell'ambito della conoscenza e della rappresentazione del patrimonio storico costruito. Considerato come attività anzitutto intellettuale da alcuni progettisti ed esponenti accademici dell'ambito della scienza della

21 L'utilizzo di questo strumento risulta totalmente ribaltato rispetto allo scopo per cui nasceva. Paradossalmente, la sua invenzione in ambito militare aveva lo scopo di criptare e decifrare i messaggi, garantendo la segretezza e l'inaccessibilità dell'informazione.

rappresentazione, l'approccio parametrico si svincola da qualsiasi epoca tecnologica e torna a ripetersi ciclicamente nella storia della costruzione della forma. In termini generali, si riconosce che il parametro «se in matematica equivale ad una costante arbitraria, richiamata in sistemi, formule ed equazioni, in ambito progettuale può assumere diverse sfumature»²². Riguardo la costruzione di modelli per l'architettura, «mettere in atto un procedimento parametrico vuol dire creare un legame tra figura, geometria e numero, tra l'aspetto fisico-formale e quello matematico della realtà, stabilendovi una relazione in grado di gestire la variabilità dimensionale»²³. Con particolare riferimento alla storia dell'architettura, o più precisamente della storia dei modelli, il concetto di parametro ha forse la sua massima esplicitazione nelle diverse interpretazioni delle regole compositive degli ordini classici, cioè nella lettura della dipendenza di ogni parte rispetto all'altra e nella misura dei rapporti dimensionali delle diverse partizioni²⁴. L'applicazione del concetto di parametro alla costruzione di modelli di architettura è strettamente correlata all'accelerazione dell'innovazione. La modellazione parametrica esprime un approccio al mondo del CAAD del tutto differente rispetto alle tradizionali forme di disegno 2D e 3D: viene definita modellazione *feature-based*²⁵ poiché ogni oggetto viene costruito attraverso lavorazioni controllate da parametri, principalmente dimensionali, e di relazioni tra le parti. L'innovazione rispetto agli applicativi CAAD risiede nella possibilità di mantenere «la struttura ad albero in grado di immagazzinare il sistema di relazioni geometriche che definiscono il modello»²⁶. Tale approccio è sintesi di ragionamenti codificabili e trasferibili al computer attraverso l'utilizzo di algoritmi, che non sono altro che l'evoluzione in digitale di quello che, agli albori della programmazione, erano le schede perforate.

²² Marotta A., Lo Turco M. 2014, p.53.

²³ Langella C., Scodeller D., Dal Buono V. 2017, p.6.

²⁴ Migliari R. 1991, p.49.

²⁵ Le *features* sono primitive di modellazione che rendono il processo di creazione del modello semplice e intuitivo, si sviluppano a partire dagli anni '90 come evoluzione dei modelli CSG (Constructive Solid Geometry) e B-rep (Boundary representation). Si distinguono due classi di features di forma: quelle principali additive (estrusioni) e sottrattive (scavi), e quelle secondarie dedicate a svolgere particolari lavorazioni (smussi, raccordi, etc).

²⁶ Buratti G. 2014, p.100.

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

Esse, una volta inserite nell'elaboratore, consentivano la trasmissione dall'individuo alla macchina dei passaggi ordinati e consequenziali di una data operazione. Parimenti, le operazioni algoritmiche si basano su sequenze logiche di operazioni finite, ordinate e consequenziali, attraverso le quali si elaborano dei dati di partenza per giungere ad un risultato finale, corrispondendo a quel processo "verticale" che in ambito produttivo caratterizza le catene di montaggio. Gli algoritmi di programmazione che governano la modellazione possono essere espliciti, rendendo palese la propria struttura logica, o celati all'interno di tools che consentono l'elaborazione delle istruzioni e la costruzione dei volumi. Un volume parametrico si differenzia da un volume solido perché su di esso è possibile operare in maniera indiretta, modificarne la forma alterando i valori dei parametri costituenti (ad esempio, larghezza, profondità e altezza) senza agire su facce e spigoli. L'intervento diretto su regioni del modello che l'utente può modificare a suo piacimento, adattando la forma a specifiche necessità tramite operazioni esplicite (spingere, ruotare, estendere, deformare, ecc.) comporta inesorabilmente la scomparsa della storia evolutiva del modello, rendendo impossibile risalire alla lista ordinata delle lavorazioni²⁷. L'ordine delle operazioni, in realtà, non è sempre determinante per l'ottenimento della forma finale e lo stesso risultato può essere ottenuto tramite diverse sequenze. Tuttavia, alcune sequenze risultano migliori di altre sia da un punto di vista quantitativo, perché necessitano di un numero ridotto di passaggi e di parametri per giungere al risultato, sia da un punto di vista qualitativo, poiché più è sintetico il processo di modellazione e minore è l'approssimazione della forma finale. Inoltre, nella costruzione di un modello 3D non è sempre possibile riconoscere l'ordine delle lavorazioni; tuttavia, se si conosce il numero e i

²⁷ Di Luggo A., Scandurra S. 2016, p.113.

parametri necessari all'elaborazione del prodotto finale, si può esplicitare la relazione che intercorre tra la forma e la sua genesi geometrica. In questo modo si attribuisce alle lavorazioni anche una natura intellettuale oltre che meramente pratica e meccanica, e si rende manifesto il *design intent*, l'intenzione progettuale. Questo principio ideativo viene dedotto a posteriori dall'analisi della forma finale e delle geometrie di cui questa si compone, riconoscendo nella geometria di un oggetto le informazioni sull'azione passata, che associa al processo deformativo della materia la storia della forma. La geometria, dunque, conserva la memoria della forma; la forma, invece, è il mezzo attraverso il quale vengono conservate le azioni "varianti"²⁸.

Tale logica segna il passaggio di testimone dal CAAD ad un tipo di *design-thinking* più complesso, che associa ai concetti di variante e di parametro anche quello di comportamento dinamico filogenetico, inteso come riconoscimento delle relazioni di parentela evolutiva di gruppi tassonomici di organismi a qualunque livello semantico. Poiché spesso i processi costruttivi sono basati su relazioni tra oggetti per cui, se un oggetto cambia, l'intero sistema deve aggiornare coerentemente la sua configurazione, è possibile estendere questo concetto all'ambito della modellazione digitale. In questo senso, la modifica di un parametro si trasmette a tutti gli elementi dipendenti senza dover necessariamente ricostruire l'intero modello digitale e «poiché basati sulla logica di associazione tra le parti questi strumenti vengono definiti associativi»²⁹.

La modellazione parametrica, quindi, è legata all'uso di variabili che possono essere modificate per alterare il risultato finale di un sistema complesso. Tutto ciò avviene in uno spazio di digitale non solo definito dalle tre dimensioni, ma in grado di riconoscere e gestire i vincoli geometrici e relazioni tra gli

²⁸ Leyton M. 2009, p.11.

²⁹ Buratti G. 2014, p.100.

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

elementi o parti di essi. La struttura parametrica viene trasferita al computer tramite la programmazione algoritmica, che svolge un ruolo fondamentale nella storia della costruzione della forma e consente un costante controllo della geometria e delle regole ad essa sottese, aggiungendo l'interpretazione della forma e la sua gestione adattiva e interattiva. In analogia con la sfera economica e produttiva della seconda rivoluzione industriale sviluppata nel taylorismo-fordismo, l'algoritmo potrebbe essere definito come «una procedura computazionale atta ad affrontare un problema in un numero finito di passaggi. Comprende la deduzione, l'induzione, l'astrazione e la logica strutturata. È l'astrazione semantica di principi logici e lo sviluppo di un piano di soluzioni generiche»³⁰. In questo senso, esso si svincola dall'appartenenza ad una determinata epoca storica e culturale, perché dissocia i processi matematici e logici utilizzati per affrontare un problema dalla tecnologia che facilita lo svolgimento e l'implementazione dei processi stessi, rendendolo applicabile a diversi contesti. Nell'ambito del patrimonio costruito, l'efficacia della modellazione algoritmica risiede nel descrivere in maniera univoca ed esplicita il processo risolutivo della complessità della forma architettonica. Essa viene scomposta in un numero finito di passaggi più semplici tali che, attraverso il flusso di informazioni in entrata e uscita, si giunga ad una caratterizzazione del dato output (il modello tridimensionale) come funzione dell'input (i parametri iniziali). L'approccio frammentato ma continuo e consecutivo della scrittura algoritmica coincide con il processo di lettura, analisi e scomposizione dell'elemento architettonico nelle più piccole parti che lo compongono, studiandone le leggi geometriche, matematiche e proporzionali che lo governano. In questo caso è il flusso dei procedimenti, e quindi il preciso ordine delle lavorazioni, il fulcro

³⁰ Terzidis K. 2006, p.40.

della modellazione, non più i parametri. Il flusso algoritmico è al tempo stesso rappresentazione del processo creativo e contenitore sia delle idee iniziali che delle molteplici configurazioni che da queste si generano³¹.

Nella descrizione algoritmica generativa tramite VPL (Visual Programming Language) tutte le possibili alternative morfologiche sono coesistenti e l'utente opera una scelta tramite la selezione delle variabili. Di particolare interesse è la descrizione di Kwinter del lavoro di alcuni progettisti contemporanei, «pervaso da una "genetica meccanica"»³², in cui, per mezzo degli algoritmi, l'architettura è considerata, al pari del mondo naturale, condizionata dai principi della morfogenesi, dei codici genetici, della replica e della selezione³³. Allo stesso modo, uno dei pionieri internazionali del Design Generativo, Celestino Soddu, lo definisce «un processo morfogenetico che utilizza algoritmi strutturati come i sistemi non-lineari per risultati unici e irripetibili e riproducibili all'infinito da un'idea-codice, come in natura»³⁴. Questa accezione "biomorfa" di design, che deriva dallo studio dei processi evolutivi di organismi o strutture naturali, assunti come modelli generativi di forme complesse organizzate in livelli gerarchici tra loro connessi, ben si presta a definire la modellazione associativa. Il valore aggiunto di una forma costruita per via generativa è la relativa dichiarazione esplicita della sua storia, univoca per parametri e lavorazioni, e palesata in forma di scrittura, costituendo contemporaneamente un dato archiviabile ma anche elemento di trasparenza per la riproducibilità dell'operazione. Questa grammatica formale consente la materializzazione nello spazio digitale dei processi mentali di creazione e controllo della forma attraverso la costruzione virtuale di modelli in maniera sincrona all'atto dello scrivere. Tale processo, esplicito e finito, è «dimostrazione

31 Il termine "generativo" appare nel panorama scientifico agli inizi degli anni Sessanta a seguito della pubblicazione dell'opera di Noam Chomsky, *Syntactic Structures*. Lo studioso introduce la teoria linguistica della grammatica generativo-trasformativa, secondo la quale tutte le lingue seguono un insieme comune di regole, sebbene le interazioni tra queste possano variare in funzione di alcuni parametri linguistici. Una grammatica generativa è pertanto in grado di creare un numero infinito di possibili relazioni a partire da un insieme finito di regole (Burrati G. 2014, p.102).

32 Kwinter S. 1998, p. 60.

33 Fiamma P. 2011, p.52.

34 Soddu C. 1999, p. 36.

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

esistenziale della forma stessa»³⁵, mediante «un codice generativo che non usa database ma collezioni di codici di generazione dinamica; che non lavora sulle forme ma sulle progressive trasformazioni; che non definisce dei risultati univoci ma progressive interferenze e contaminazioni capaci di produrre variazioni infinite»³⁶.

Le tecnologie informatiche per la gestione del lavoro nel BIM

L'acronimo BIM (Building Information Modeling) attorno al quale ruota attualmente l'intero settore delle costruzioni si presta a numerose interpretazioni: in esso si fondono l'aspetto dell'*Information* con le modalità di costruzione delle geometrie dell'architettura. È su quest'ultimo aspetto che si declinano numerose varianti: il BIM, infatti, consente la rappresentazione digitale degli elementi tecnico-costruttivi di un edificio (*Built*) ma anche di tutti gli aspetti di connessione e relazione semantica tra gli elementi stessi (*Building*). Il prodotto finale, inteso come oggetto digitale, è un modello di architettura (*Model*), ma grazie alla modalità parametrica di costruzione e informazione delle forme geometriche si è in grado di rendere esplicita anche la natura stessa dei processi di modellazione (*Modelling*). Infine, in un'ottica più ampia di organizzazione e controllo del processo edilizio in tutti suoi aspetti per tutto il ciclo di vita di un'opera architettonica, BIM è processo di gestione (*management*). Tale sistema è basato su di un prototipo virtuale, il modello digitale, costruito per elementi costruttivi e non per forme geometriche astratte. Attraverso l'utilizzo di strumenti collaborativi consente a tutte le discipline professionali impegnate nelle fasi di progettazione, realizzazione e gestione di una costruzione, di effettuare configurazioni ipotetiche, analisi e verifiche in modo dinamico. Da ciò deriva la capacità di prendere decisioni

³⁵ Loria G. 1935, p.77.

³⁶ Soddu C. 1989, p.51.

attraverso il continuo feedback tra la fase di progetto, simulazione e convalida, diversamente dal processo edilizio tradizionale, nel quale diversi operatori offrono il loro contributo in maniera quasi isolazionista, seguendo un flusso di lavoro lineare e consecutivo.

L'ambiente digitale parametrico del BIM, diversamente da un CAAD, non rappresenta più solo uno strumento di costituzione statica della forma ma una metodologia dinamica basata sulle relazioni tra oggetti. Esso introduce nel campo della modellazione dell'architettura, insieme ai concetti di variante e di parametro, quello di estensione di una singola modifica all'intero modello con un effetto farfalla³⁷ e quello di archivio informatizzato, in cui contenuti di diversa natura sono fra loro interconnessi.

L'interconnessione e l'interoperabilità tra figure professionali e tecnologie digitali deve garantire l'utilizzo, la gestione e la comunicazione dei dati elettronici relativi all'edificio. La collaborazione fra i partecipanti al processo, a partire dalla committenza, è oggi resa possibile dagli ACDat, gli Ambienti di Condivisione dei Dati (o CDE, Common Data Environment), grazie ai quali tutte le figure professionali possono svolgere le proprie attività simultaneamente, soprattutto da remoto.

A livello normativo la UNI-EN-ISO 19650-1 definisce il CDE come fonte di informazioni concordata per un dato progetto o risorsa, per la raccolta, la gestione e la diffusione di ogni contenitore di informazioni attraverso un processo gestito. La UNI 11337, la più nota e richiamata norma nazionale nel contesto del BIM, identifica il CDE come ambiente di raccolta organizzata e condivisione dei dati relativi a modelli ed elaborati digitali, riferiti ad una singola opera o ad un singolo complesso di opere. L'ambiente di condivisione di dati è una infrastruttura informatica di raccolta e gestione organizzata dei dati, in cui solo i soggetti accreditati possono condividere le in-

37 Locuzione comunemente usata per indicare l'estrema sensibilità alle condizioni iniziali esibita dai sistemi dinamici non lineari. In altri termini, infinitesime variazioni nelle condizioni iniziali producono variazioni grandi e crescenti nel comportamento successivo dei suddetti sistemi.

1. Evoluzione del BIM come sistema produttivo industriale

formazioni prodotte secondo regole stabilite. Tale ambiente digitale è regolato da precisi sistemi di sicurezza per l'accesso, la tracciabilità e la successione storica delle variazioni apportate ai contenuti informativi, l'accessibilità informativa, la definizione delle responsabilità, la tutela della proprietà intellettuale. Particolarmente interessante, a tal proposito, è la riflessione fatta da Mario Carpo in relazione a temi quali l'allografia e l'autografia³⁸: con la diffusione del BIM, «la paternità architettonica potrebbe assumere la forma di una leadership consensuale, che assomiglia in modo curioso all'organizzazione del lavoro prevalente nei cantieri tardo-medievali prima dell'ascesa del moderno paradigma di Alberti»³⁹. La stessa rigidità sulla gestione del contenuto informativo è riservata alla definizione delle figure professionali. Diversamente da quanto potrebbe suggerire un ambiente di lavoro così condiviso, interoperabile, e aperto, gli attori del processo BIM si posizionano su gradini diversi di una piramide fortemente gerarchica. In particolare, la norma UNI 11337 fornisce indicazioni sul ruolo, i compiti e le modalità di valutazione e certificazione dei nuovi operatori: il BIM Specialist, è l'operatore specializzato responsabile della gestione della modellazione informativa; il BIM Coordinator coordina i flussi informativi; il BIM Manager gestisce i processi digitalizzati; il CDE Manager, gestisce l'ambiente di condivisione dei dati. A tal proposito, suscita non poche perplessità il fatto che il requisito minimo almeno per gli organi di controllo, quindi per posizioni diverse da quella di BIM Specialist, non sia una laurea specialistica in architettura o ingegneria. Si dà valenza all'esperienza maturata in ambito BIM e al lavoro generico in area tecnica, come se potessero bastare a sostituire un substrato culturale che porta a sviluppare capacità di progettazione, lettura e analisi di un edificio. Queste capacità critiche sarebbero certamente ben

³⁸ Sdegno A. 2016, p.45. Sul tema dell'influenza delle nuove tecnologie sul procedimento autografico e allografico di progettazione architettonica si vedano: Sdegno A. 1996, Sdegno A. 2001.

³⁹ Carpo M. 2011. Nel testo l'autore affronta i temi delle nuove tecnologie BIM ed evidenzia la presenza ormai stabile di due figure principali nel processo di definizione del progetto, e ne analizza la relazione: colui che si occupa dell'atto creativo (primary author) e di chi interessa di trasformare l'idea di base in soluzione finale all'interno del processo produttivo (secondary author).

investite soprattutto in un processo di digitalizzazione del patrimonio costruito, per il quale la costruzione di modelli informativi basati sulla relazione semantica tra componenti può risultare certamente più ostica che non nel campo della progettazione del nuovo: i modelli ne beneficerebbero sia rispetto alle capacità dinamiche di adattamento alla modifica, sia in termini di documentazione, archiviazione e comunicazione delle informazioni dell'edificio di cui il modello ambisce ad essere la copia virtuale.

La diffusione del BIM comporta anche una revisione delle modalità di trasferimento dei dati e di comunicazione, che deve essere trasparente, esplicita e senza perdita di informazioni. Per questo motivo, è oggetto di costante studio e implementazione la definizione di uno standard internazionale di scambio, l'IFC (Industry Foundation Classes). Esso consente di condividere dati indipendentemente da quale software sia utilizzato, offre la possibilità di fornire ai dati una continuità temporale utilizzandoli durante l'intero ciclo di vita dell'edificio, senza doverli riscrivere o senza utilizzare interfacce di importazione personalizzate o plug-in proprietari. Questi vantaggi rendono l'IFC richiesto nella maggioranza dei protocolli nazionali BIM e inserito nelle normative, dimostrando come in un cambiamento di ampia portata culturale come quello avviato dall'introduzione del BIM, sia necessario stabilire regole per tutti gli aspetti di gestione dell'architettura.

BIM/HBIM: il modello²

L'evoluzione delle tecnologie digitali a servizio della rappresentazione dell'architettura ha permesso il raggiungimento di obiettivi prima impensabili per la conoscenza e la comunicazione del patrimonio costruito. I sistemi BIM (Building Information Modeling), integrando le possibilità offerte dagli strumenti di modellazione tridimensionale, solida e parametrica, con quelle dei sistemi per la gestione e la condivisione di dati, consentono l'archiviazione e la gestione di grandi quantità di informazioni del patrimonio architettonico. Nel campo dell'edilizia, il BIM costituisce un riferimento fondamentale per le nuove costruzioni, la cui caratteristica fondamentale risiede nella standardizzazione delle componenti architettoniche e tecnologiche. La necessità sempre crescente di interventi a scopo preventivo e conservativo su edifici esistenti impone l'esigenza di estendere questo approccio dalla progettazione del nuovo al patrimonio architettonico costruito. In realtà, questa

applicazione non risulta poi così scontata: nel caso di edifici già esistenti spesso, soprattutto nel caso di manufatti storici o stratificati, alla standardizzazione si contrappone l'unicità del manufatto. Tuttavia, la costruzione di modelli intesi come basi di dati sempre più complete, eterogenee, implementabili e condivisibili, è una delle ragioni – più strettamente culturali che non economiche o legate alla volontà di ottimizzare tempi e le modalità di realizzazione e di gestione di un'opera architettonica – per cui i processi BIM sono entrati a far parte della gestione del patrimonio costruito. In particolare, l'ambito della rappresentazione cerca di superare i limiti legati al contrasto tra la rigidità del processo e l'eterogeneità dell'architettura storica.

Il BIM: presupposti teorici e applicazioni

Da quando il termine BIM (Building Information Modeling) è stato introdotto nel settore dell'industria delle costruzioni, è passato dall'essere un campo di applicazione di alcuni primi utenti illuminati ad essere il fulcro della tecnologia AEC (Architecture, Engineering, Construction) che comprende gli aspetti che vanno dalla progettazione, alla costruzione, alla gestione di un edificio. Nel 1974 il Professor Charles M. Eastman ha descritto per primo, in una pubblicazione relativa ad una ricerca sviluppata alla Carnegie-Mellon University di Pittsburgh (USA) dal titolo *An outline of the building description system*, un modello virtuale di edificio in grado di contenere informazioni di tipo geometrico¹. Prende avvio così lo sviluppo del BIM, contestualmente allo sviluppo di strumenti software che hanno consentito l'effettiva realizzazione di modelli tridimensionali sempre più legati alle esigenze della produzione edilizia. Negli ultimi cento anni, gli edifici sono diventati sempre più caratterizzati da sistemi costruttivi e livelli di progettazione integrata impensabili fino al secolo

¹ Eastman C., Fisher D., Lafue G., Lividini J., Stoker D., Yessio C. 1974.

precedente. Le reti di dati e di comunicazioni, gli impianti per l'aria condizionata, i sistemi per la sicurezza, le soluzioni tecnologiche per il potenziamento degli involucri edilizi, gli interventi di adeguamento e miglioramento sismico sono solo alcune delle specificità previste nella progettazione architettonica. Ad ognuno di questi aspetti vengono associate molteplici informazioni, sotto forma di documenti, relazioni e fogli di calcolo, che vanno ad aggiungersi agli elaborati grafici. Architetti, ingegneri, costruttori e imprese hanno dovuto adattarsi ai cambiamenti trovando il modo per coordinare, gestire e mantenere i diversi sistemi. Questi aumenti di specializzazione, scala e complessità hanno portato ad un incremento sia dei tempi e dei costi legati al ciclo di vita dell'edificio², sia dei dati e delle informazioni³ da gestire⁴. Stare al passo con questa tendenza, ancora oggi in crescita, ha reso necessario trovare un modo per coordinare efficacemente i diversi aspetti e comunicare chiaramente un'ampia quantità di informazioni a tutti i soggetti coinvolti nel processo produttivo dell'edilizia. La maggior parte delle aziende di architettura, ingegneria e costruzione ha progressivamente abbandonato la tecnologia CAD, basata sul disegno, in favore delle soluzioni BIM, nate con lo scopo di offrire una visione globale dell'edificio basata su modelli tridimensionali. Tali modelli sono composti dai cosiddetti "oggetti intelligenti" che contengono informazioni su se stessi e sulle relazioni con gli altri oggetti all'interno dello stesso modello e possono essere costruiti o modificati consentendo al sistema una propagazione delle modifiche all'intero modello da cui è possibile, inoltre, estrarre viste e abachi.

Questo passaggio segna un cambiamento non tanto per ciò che riguarda le tecnologie utilizzate, quanto più per l'approccio concettuale alla base del BIM, che altera i processi di costruzione coinvolti nella realizzazione di

² Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. 2021.

³ Il dato è inteso come ciò che descrive le proprietà dell'opera architettonica senza connotazioni specifiche e che, in seguito ad un processo di interpretazione, si trasforma in informazione, assumendo un significato riferibile al contesto.

⁴ Bianchini C., Griffo M. 2020.

un edificio: l'acquisizione e lo sviluppo dei requisiti programmatici del cliente, l'analisi delle alternative di progettazione, gli aspetti strutturali ed energetici, la fattibilità e i costi di costruzione, la collaborazione e l'integrazione tra le diverse professionalità coinvolte nel processo progettuale, l'effettiva realizzazione dell'edificio, la fabbricazione di componenti tecnologici, la gestione e la manutenzione dell'impianto edilizio successive alla costruzione. Tale processo, inoltre, abilita capacità completamente nuove come il controllo multidisciplinare del modello per i conflitti prima della costruzione o la revisione automatica di un progetto per la soddisfazione delle norme edilizie, portando maggiore efficienza rispetto alla progettazione in 2D. Se prima essa era subordinata alla rappresentazione della forma astratta mediante piante, prospetti e sezioni, il BIM consente una simulazione tridimensionale dell'edificio e delle sue componenti. Tale simulazione non si limita a mostrare come i diversi sistemi tecnologici e costruttivi possano essere assemblati nel progetto ma può prevedere collisioni e interferenze, analizzare le variabili ambientali, calcolare le quantità dei materiali impiegati in tempo reale invece che attraverso computi metrici redatti manualmente. Ciò conferisce al processo BIM sia maggior accuratezza nel conteggio di quantità e costi, sia maggior efficienza del tempo che, così risparmiato, può essere impiegato su questioni di natura progettuale. Inoltre, la possibilità di integrare in un unico modello tridimensionale aspetti legati all'architettura, alla struttura e alla meccanica, e di legare a ciascuno di essi i relativi documenti, consente di considerare il prodotto finale non solo come un sostituto digitale dell'oggetto reale. Esso si configura come un database su cui è possibile compiere le note operazioni di definizione di viste predefinite ed estrazione di elaborati bidimensionali, il controllo di interferenze tra le compo-

nenti architettoniche, strutturali ed impiantistiche, il coordinamento di documenti, agevolando la cosiddetta interoperabilità tra le figure professionali preposte all'ideazione, alla realizzazione e al controllo del progetto⁵.

In relazione all'aspetto tecnico, più che a quello gestionale, ciò che distingue il processo progettuale sviluppato tramite il BIM dai sistemi CAD della generazione precedente è la modellazione parametrica. Da un punto di vista computazionale, gli strumenti di modellazione parametrica incorporano le modalità proprie della Constructive Solid Geometry (geometria solida costruttiva), per la modifica della forma, e della Boundary Representation (rappresentazione per confini), per la visualizzazione e il rilevamento delle interferenze. La principale differenza tra le due modalità di costruzione di modelli risiede nella costruzione della forma. Nella CGS essa viene descritta tramite una formula algebrica, nella B-rep come un insieme chiuso e orientato di superfici delimitate che soddisfano un insieme definito di criteri relativi all'inclusione del volume, all'orientamento e alla continuità della superficie. Questa distinzione, su cui inizialmente ci si basava per definire quale fosse l'approccio migliore, è stata superata mediante l'integrazione dei due metodi rappresentando proprio l'approccio precursore della modellazione parametrica. Dal punto di vista dell'impostazione del modello e degli elementi che lo costituiscono, la modellazione parametrica consente di rappresentare gli oggetti non tramite geometrie e proprietà fisse, ma in base a parametri e regole che determinano sia gli aspetti morfometrici, sia proprietà e caratteristiche di diversa natura. Parametri e regole possono definire sia un singolo oggetto, sia le relazioni tra oggetti differenti, consentendo ad essi di funzionare sia autonomamente, sia in relazione al contesto in cui sono collocati, che viene aggiornato in seguito

⁵ Cfr. Parte prima, par. «Le tecnologie informatiche per la gestione del lavoro nel BIM».

alle modifiche. Il primo caso può essere compreso meglio attraverso il seguente esempio: i confini di una parete sono definiti dai piani del pavimento, dalle superfici verticali ad essa adiacenti e dalla superficie del soffitto che poggia su di essa. È questo il caso in cui il modo in cui gli oggetti sono collegati determina la loro forma: se un singolo muro venisse spostato, tutti gli oggetti ad esso collegati dovrebbero aggiornarsi. Nel secondo caso, invece, la geometria non è definita dalle forme degli oggetti correlati, ma globalmente, attraverso l'impostazione di griglie o piani di riferimento, che vengono spesso utilizzati per definire i telai strutturali. I punti di intersezione della griglia sono utili al posizionamento degli elementi, all'orientamento e alla definizione della forma: spostando una linea, l'intera griglia viene automaticamente aggiornata. Il processo analogo avviene con i piani di riferimento: spostandoli o modificandone l'orientamento, tutti gli oggetti ad essi collegati subiscono la stessa modifica. La necessità di propagare la modifica di un oggetto ad altri elementi del modello, o all'intero modello, ha consentito di sviluppare sistemi che analizzassero le modifiche e scegliessero il modo più efficiente per aggiornarle automaticamente. La capacità di supportare gli aggiornamenti automatici costituisce lo stato dell'arte nella modellazione parametrica. Essa, attualmente, non viene solo utilizzata per creare forme complesse ma anche per stabilire le buone pratiche che un modello deve rispettare e creare librerie di oggetti personalizzate⁶.

⁶ La norma UNI 11337:1-2017 definisce la libreria di oggetti come un ambiente digitale per la raccolta organizzata e la condivisione di oggetti 2D e 3D, singoli componenti o sistemi costruttivi caratterizzati da un livello di dettaglio adeguato all'utilizzo nel modello. Le librerie consentono di selezionare e utilizzare componenti caratterizzati dal punto di vista geometrico, materico, tecnologico e prestazionale.

In relazione all'utilizzo e alla gestione dei modelli, invece, un ruolo importante è rivestito dal quadro normativo nazionale e internazionale, che ha subito alcuni cambiamenti in seguito all'introduzione del BIM nel settore delle costruzioni. Molti paesi europei ed extraeuropei hanno emanato normative sul tema della digitalizzazione del processo edilizio e sull'ado-

zione dei processi BIM con l'obiettivo di migliorare la produttività e l'efficienza dei processi nel campo dell'industria delle costruzioni. Oggi, la prefigurazione dello scenario in cui il BIM sarebbe diventata una pratica di uso comune è diventato realtà e i modelli informativi sono lo strumento principale dei processi finalizzati alla nuova costruzione e ad interventi sul patrimonio esistente. Le questioni di cui questo processo deve tener conto riguardano molteplici aspetti: la proprietà intellettuale⁷ dei database BIM, la condivisione delle informazioni sensibili in essi contenute, la definizione e la standardizzazione del livello di dettaglio del modello nei vari stati del processo di costruzione, i ruoli operativi e le responsabilità intellettuali⁸ e legali reciproche dei diversi operatori coinvolti.

In Europa il principale punto di riferimento normativo è la *European Union Public Procurement Directive 2014/24*, la direttiva europea che nel 2014 invitava gli stati membri UE ad incoraggiare, attraverso provvedimenti legislativi nazionali da emanare entro il 2016, l'uso del BIM per tutte le opere a finanziamento pubblico per favorire la trasparenza delle procedure di appalto. A tal proposito, la direttiva punta ad introdurre una metodologia completamente nuova per la gestione e la verifica dei dati in tutte le fasi del processo edilizio.

Il contesto normativo italiano in materia di appalti, disciplinato dapprima dal Codice dei Contratti Pubblici (d.lgs. 163/2006 e d.P.R. 207/2010) e dal Nuovo Codice Appalti (d. lgs. 56/2017) ha di recente subito una modifica che spinge esplicitamente all'utilizzo progressivo di nuovi strumenti. Il Decreto 2 agosto 2021, n. 312, modifica il precedente decreto del 2017 e introduce una diversa tempistica dei metodi e degli strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture negli appalti pubblici. In particolare, impone l'obbligo del BIM per appalti

⁷ Il Codice della Proprietà Industriale (d.lgs 30/2005) raccoglie le norme relative alla proprietà artistica, letteraria e industriale, il cui insieme costituisce la cosiddetta proprietà intellettuale.

⁸ AA.VV. 2016, p.60.

esclusivamente sopra la soglia del milione di euro tra il 2022 e il 2025 e prevede punteggi premiali per l'uso del BIM negli appalti pubblici finanziati dal PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza) e dal PNC (Piano Nazionale Complementare)⁹. Ciò rende obbligatorio conoscere il principale riferimento normativo, costituito dalla UNI 11337 Edilizia e opere di ingegneria civile - gestione digitale dei processi informativi del 2017. La norma nasce con l'ambizioso obiettivo di poter essere applicata a diverse tipologie di prodotti, siano essi edifici o infrastrutture, e a qualsiasi processo di ideazione, produzione ed esercizio, sia nel campo delle nuove costruzioni, sia in quello della riqualificazione e della conservazione del patrimonio costruito. Definisce i concetti alla base del BIM (informazione, contenuto informativo, modelli informativi, oggetto digitale, libreria di oggetti digitali, ecc.); classifica i modelli informativi in relazione agli stati di lavorazione, approvazione e verifica; enuclea le fasi del processo informativo delle costruzioni, entrando nel dettaglio degli obiettivi di ciascuna di esse; approfondisce il livello di dettaglio degli oggetti digitali la cui aggregazione concorre alla costruzione del modello. Un altro importante riferimento normativo è costituito dalla ISO 19650-1 del 2018, che classifica gli oggetti digitali in riferimento agli obiettivi di ogni fase e agli usi del modello. La norma ha introdotto un ulteriore elemento nella definizione del livello di dettaglio: i precedenti livello di sviluppo (LOD, Level of Development) vengono sostituiti dai livelli di fabbisogno informativo (LOIN, Level of Information Need), suddivisi a loro volta in base al tipo dei requisiti, in geometrici (LOG, Level of Geometry), e non geometrici (LOI, Level of Information)¹⁰. Sebbene il contesto normativo sia evidentemente in costante evoluzione, già la UNI 11337 del 2017 proponeva una differenza nella definizione del livello di sviluppo degli oggetti (LOD)

⁹ Il PNRR e il PNC prevedono investimenti e riforme promosse dal Ministero per lo Sviluppo Economico per favorire uno sviluppo duraturo e sostenibile dell'economia. Una delle sei missioni che il PNRR porta avanti, *Digitalizzazione, innovazione, competitività e cultura*, vuole favorire l'innovazione in chiave digitale, sostenendo l'infrastrutturazione del Paese e la trasformazione dei processi produttivi delle imprese.

¹⁰ La norma utilizza la terminologia in lingua inglese per mantenere l'uniformità con le prescrizioni vigenti in ambito internazionale.

che compongono i modelli, espresso tramite una scala di riferimento. Essa va dal LOD A, in cui l'oggetto è definito in modo simbolico, al LOD G, in cui l'oggetto si definisce "aggiornato", intendendo con questo termine una «virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto in cui sono indicati gli interventi di manutenzione e riparazione già eseguiti»¹¹, esplicitando in particolare nei LOD F e LOD G i livelli di sviluppo per il restauro. Non è un caso che un simile ampliamento della norma sia nato proprio nel contesto italiano, caratterizzato dalla presenza di numerosi edifici e strutture di interesse storico culturale e in cui la maggior parte delle attività riguardano più il restauro e la conservazione dei beni architettonici, che le nuove edificazioni. Proprio l'esigenza di lavorare sul patrimonio costruito apre ad una serie di questioni che il BIM, da solo, non è in grado di esaurire; occorre quindi definire altre regole in grado di governare la complessità dei manufatti storici.

L'HBIM: presupposti teorici e applicazioni

La costruzione di modelli tridimensionali per l'architettura, sia essa esistente o progettata, presuppone un forte controllo dello spazio, la conoscenza delle componenti tecnologiche e strutturali che ne permettono la costruzione, la capacità di riconoscere le geometrie sottese alle forme che lo costituiscono. Nel campo del BIM, a tutto questo si aggiungono l'impostazione delle variabili parametriche degli oggetti digitali e la corretta definizione geometrica e semantica sia tra gli elementi del modello, sia tra essi e i riferimenti spaziali. L'approccio, oltre a fornire un contributo dal punto di vista dell'ottimizzazione dei processi, dell'economia delle risorse e dell'interoperabilità, ricalca perfettamente la standardizzazione delle componenti costruttive e architettoniche che caratterizza gli interventi di nuova costruzione. In ambito progettuale si prediligono tecniche costruttive basate

¹¹ Norma UNI 11337-4, p.8.

sempre più sulla produzione controllata e seriale degli elementi e sull'assemblaggio delle componenti fuori opera. L'edificio, considerato come un insieme coordinato di elementi tecnologici semplici¹², anche nelle applicazioni BIM viene costruito per composizione di oggetti digitali semplici. L'elevata corrispondenza tra edificio reale e BIM consente di anticipare o evidenziare incongruenze la cui risoluzione in fase progettuale determina notevoli vantaggi decisionali in termini di efficienza e di riduzione dei costi¹³. I benefici che si ottengono in questo senso, in realtà, risultano estremamente interessanti anche nel caso di interventi su edifici già esistenti. La possibilità di pianificare e controllare gli interventi in modo decentralizzato risulta, da qualche anno a questa parte, non più solo prerogativa delle nuove costruzioni e la volontà di estendere l'approccio BIM all'architettura costruita ha portato ad introdurre il concetto di HBIM, Heritage Building Information Modeling. Definito per la prima volta nel 2009 in un articolo di Murphy, McGovern e Pavia dal titolo *Semi-automatic modelling of building facades with shape grammars using historic building information modelling*, il termine HBIM indicava un nuovo approccio alla modellazione degli organismi edilizi esistenti. Gli autori presentavano i primi esiti di una ricerca in cui il processo BIM veniva sviluppato nel campo del patrimonio costruito. La modellazione di elementi architettonici, rappresentati mediante librerie di «oggetti parametrici interattivi»¹⁴ si basava sulla conoscenza delle loro caratteristiche costruttive e storico-artistiche e sulla possibilità di riscontrare un'accurata corrispondenza in un rilievo tridimensionale. L'estensione del BIM all'ambito del patrimonio costruito comporta l'ottimizzazione dei processi che, se anche non indirizzati alla nuova edificazione, prevedono comunque la possibilità di intervenire su manufatti esistenti. Molti progetti riguardanti la prote-

¹² Bianchini C., Inglese C., Ippolito A., Maiorino D., Senatore L.J. 2017.

¹³ L'analisi delle interferenze e le possibili connessioni tra le soluzioni architettoniche, strutturali ed impiantistiche, data l'odierna complessità degli elementi impiegati nella costruzione, è un aspetto fondamentale. A tal proposito, il disegno tradizionale e i sistemi CAD mostrano il limite di offrire una visione parziale e statica di un edificio.

¹⁴ Murphy M., McGovern E., Pavia S. 2009.

zione, la conservazione, il restauro e la divulgazione di beni culturali vengono portati avanti in tutto il mondo per il ruolo preminente che assumono nello sviluppo socio-economico. Parallelamente a quanto accaduto nel settore delle costruzioni con il BIM, la tendenza degli ultimi anni è quella di considerare l'HBIM come il quadro di riferimento per la conoscenza e il monitoraggio dell'architettura esistente e la predisposizione di interventi futuri. Ciò impone la revisione e il continuo aggiornamento delle modalità e degli strumenti di lavoro e l'ampliamento delle figure professionali coinvolte nel processo: agli architetti, ingegneri, impiantisti e strutturisti, da sempre coinvolti nella filiera della progettazione e della realizzazione architettonica, si aggiunge chi opera nel campo dei Beni Culturali. Storici, restauratori, funzionari della Soprintendenza e delle amministrazioni preposte alla tutela, alla conservazione e alla gestione del patrimonio che, necessariamente, costituiscono parte attiva nell'intero processo, dalla fase della costruzione del modello, alla pianificazione degli interventi e alla gestione delle strutture.

Da un punto di vista strettamente teorico, l'approccio HBIM non differisce molto da quello BIM: anche l'architettura già costruita può essere analizzata attraverso la scomposizione e la lettura delle sue componenti costitutive a cui è possibile associare diverse tipologie di informazioni. Il modello si predispone non solo ad essere il sostituto digitale dell'oggetto reale, ma raggiunge l'ambizioso obiettivo di configurarsi come un database¹⁵: non solo gli oggetti digitali possono essere arricchiti attraverso i parametri e le annotazioni, ma ad essi viene associata anche la documentazione storica, grafica (immagini, modelli 2D) o testuale. Questa possibilità, valida anche nei processi BIM, diventa fondamentale quando si opera nel campo dei beni culturali, sia rispetto alla conoscenza dell'oggetto di studio, sia all'impostazione

¹⁵ Gaiani M., Benedetti B., Apollonio F.I. 2011.

del modello. Nei processi di conoscenza del patrimonio costruito diventa essenziale poter associare al modello non solo informazioni di tipo grafico o testuale ma anche i dati derivanti dalle operazioni di rilevamento integrato. Nello studio di edifici esistenti risulta necessario poter monitorare lo stato di conservazione e individuare le problematiche per pianificare le diverse tipologie di intervento. Tuttavia, affinché tali processi siano effettivamente più efficaci di quelli condotti tramite i modellatori tradizionali, occorre risolvere alcuni temi da un punto di vista più strettamente operativo. Progettare interventi su manufatti architettonici esistenti di interesse culturale implica gestire dati, informazioni e modelli eterogenei, scontrandosi con la mancanza di una completa interoperabilità tra i sistemi e i software dedicati; padroneggiare le costruzioni geometriche sottese alla costruzione degli elementi dell'architettura costruita, non sempre riconoscibili e regolari; definire gli elementi a livello semantico oltre che geometrico, sia singolarmente, sia nella relazione con le altre componenti, che, per l'architettura storica, non sempre è possibile conoscere. Queste premesse consentono di comprendere che nella modellazione per oggetti digitali di manufatti architettonici esistenti i meccanismi virtuosi prospettati dall'adozione del BIM entrano in crisi. Per quanto anche gli edifici esistenti possano essere scomposti in elementi semplici, e per quanto le operazioni di rilevamento possano dimostrare la regolarità di determinate configurazioni geometriche e la ripetizione di alcune componenti, la modellazione parametrica e informativa dell'architettura esistente è ben più complessa. Questo è valido sia in riferimento alla traduzione geometrica del continuum reale, sia alla descrizione qualitativa e semantica dello stesso. Sebbene possa sembrare una considerazione ovvia, tali difficoltà mutano al variare delle caratteristiche

intrinseche del manufatto esistente oggetto di studio. Basti pensare alla complessità di individuare la geometria di alcuni elementi dell'architettura antica, o alla difficoltà nel trasferire nei sistemi BIM gli effetti variabili che il passare del tempo e gli agenti atmosferici possono determinare sulle superfici, o le deformazioni di elementi strutturali. Questi aspetti si scontrano inevitabilmente con la difficoltà di restituire le peculiarità e i dettagli che rendono unici gli elementi di edifici storici. Spesso viene privilegiata la semplificazione geometrica anche a causa della non completa elasticità dei modellatori che propongono librerie digitali di oggetti che, prevedibilmente, non sono in grado di esprimere il carattere olistico del patrimonio architettonico, soprattutto quando è stratificato o deteriorato.

Il dibattito intorno a questi argomenti si spinge oltre i limiti dell'approccio tecnico che caratterizza il BIM, sconfinando in quello umanistico. Le ragioni di ciò possono rintracciarsi nell'evidenza che lega la maggior parte dei processi HBIM ad un controllo molto accurato delle prestazioni tecniche, a cui talvolta corrisponde una scarsa consistenza nella lettura dell'oggetto. Proprio la presenza del termine Heritage spinge a considerare la semantica del costruito¹⁶, intesa come interpretazione e sintesi degli elementi dell'architettura e delle regole compositive sottese alla sua progettazione e alla sua realizzazione. Senza trascurare o sottovalutare gli aspetti tecnici, ma integrandoli alla forte struttura concettuale derivante da diverse indagini architettoniche (costruttive, strutturali, approfondimenti storici, analisi compositive), l'HBIM aspira in questo modo a fornire strumenti per una modellazione più coerente del patrimonio costruito.

¹⁶ Fonseca F., Martin J.E. 2005.

La struttura dell'HBIM e la relazione con i dati di rilievo

Esiste ormai una letteratura consolidata secondo la quale, oggi, tutte le operazioni che hanno come scopo la conoscenza di manufatti esistenti siano sempre più legate all'utilizzo di tecnologie integrate per l'acquisizione massiva di punti. I dati ottenuti vengono formalizzati, in prima istanza, in modelli numerici che, in seguito, vengono elaborati in modelli 3D e 2D. Entrambi i casi sono caratterizzati dal passaggio da un modello acriticamente descrittivo della realtà, quello numerico, a modelli in cui, coerentemente con gli obiettivi del rilievo, le scelte dello studioso risultano fondamentali affinché emergano determinati aspetti del manufatto. Tali procedure risultano, pertanto, il frutto di operazioni tutt'altro che automatiche ma che costituiscono il quadro di riferimento che lega la fase di acquisizione dei dati (rilevamento) alle modalità con cui invece si realizza l'analisi dell'oggetto studiato (rilievo)¹⁷. Stanti le diverse metodologie per l'acquisizione, i numerosi risultati ottenuti nel campo della documentazione dei Beni Culturali e la costruzione di modelli per l'architettura sempre più eterogenei, la digitalizzazione del patrimonio costruito sembra non rappresentare più un problema. L'utilizzo di tecnologie di acquisizione 3D *range based* (scansione laser 3D) o *image based* (*Structure from Motion*) è ormai all'ordine del giorno così come lo è la possibilità di includere i relativi dati all'interno dei cosiddetti processi HBIM. Questo passaggio in realtà è tutt'altro che semplice per diversi motivi.

Il primo riguarda il dato di partenza, ovvero i modelli numerici prodotti in seguito all'acquisizione dei dati di rilievo. Nonostante le innumerevoli esperienze di rilevamento integrato e l'utilizzo delle nuvole di punti, mancano ancora strumenti e metodi per valutarne la qualità. A volte si assume come para-

¹⁷ Docci M., Bianchini C., Ippolito A. 2011.

metro il numero assoluto di punti che compongono la nuvola ma, se non riferito alla dimensione reale dell'oggetto e ad un determinato intervallo spaziale (m^3), non assume alcun valore. Al contrario, la densità, espressa come numero di punti nell'unità di misura, costituisce un parametro affidabile per valutare la qualità del rilievo. Inoltre, se da una parte la valutazione della qualità della nuvola di punti non può prescindere dalla quantità di punti acquisiti, dall'altra questo parametro rischia di essere privo di significato se non considerato in relazione alle informazioni potenzialmente estraibili da quel *dataset*. Questa problematica, però, non nasce con lo sviluppo del BIM e dell'HBIM ma in seguito all'ampia diffusione delle metodologie per l'acquisizione massiva¹⁸. La restituzione del rilievo è passata dalla definizione di quanto dettagliare il disegno a quanto poter estrarre dal modello numerico in termini di misura. Questa evidenza, lungi dall'essere meramente convenzionale, è anzi del tutto scientifica, anche se basata su dati statistici: l'essere umano, infatti, non riesce a distinguere linee più vicine a 0,2-0,3 mm. Ciò consente di stabilire quanto dettagliare la rappresentazione in riferimento alla scala, poiché tale lunghezza corrisponde a 2-3 cm per la scala 1:100, e a 1-1,5 cm per la scala 1:50¹⁹. L'estensione di questo concetto alla lettura delle nuvole di punti è facile e coerente allo stesso tempo: la densità costituisce il parametro per identificarne la scala in relazione alla distanza tra i punti nel mondo reale. Alla distanza tra i punti della nuvola, quindi, è possibile associare una scala di rappresentazione; ad esempio, in accordo con quanto precedentemente espresso, una distanza tra i punti di 2-3 mm corrisponde ad una scala compresa tra 1:10 e 1:20. L'adozione di questo metodo ha portato vantaggi sia nella fase di acquisizione dei dati, in cui avere una scala di rappresentazione cui fare riferimento ha consentito di

¹⁸ da Silva Cruz L., Dunic E., Evangelos A. 2019.

¹⁹ Docci M., Maestri D. 2009.

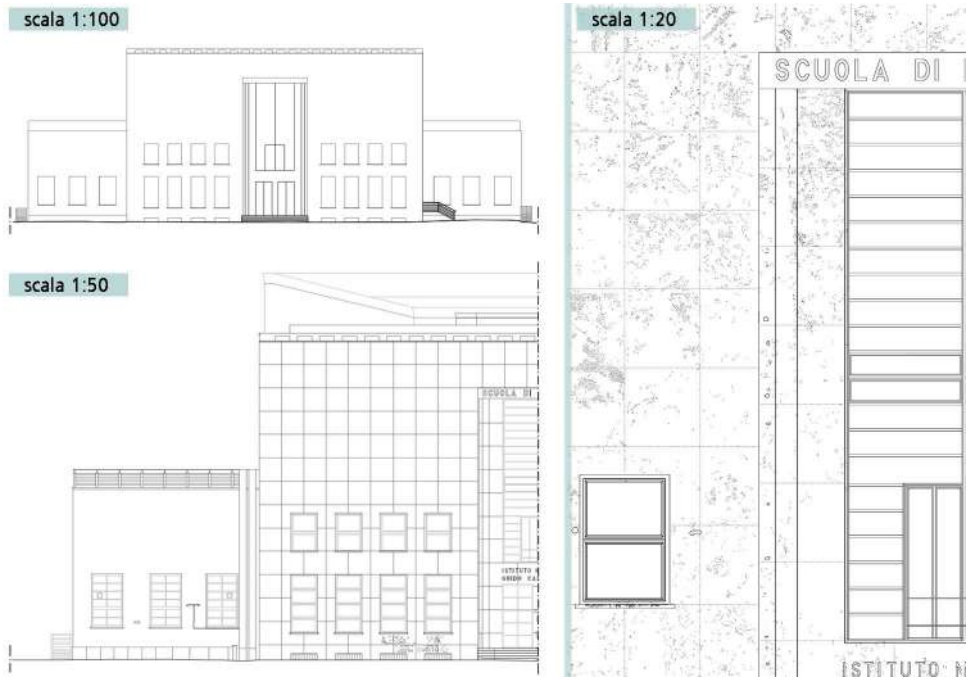
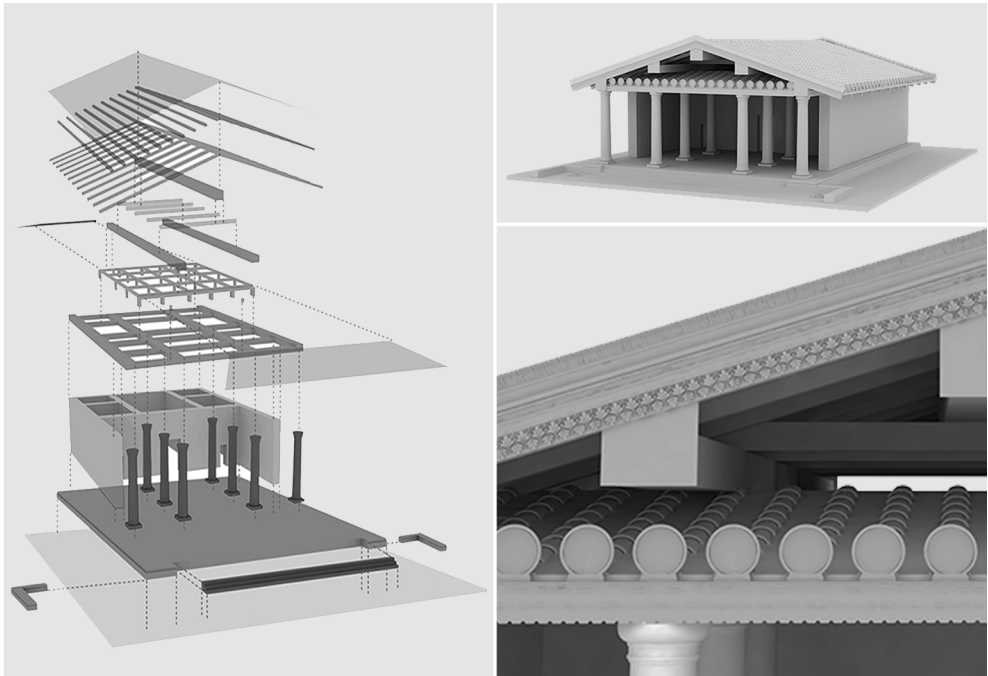


Fig. 1/ La scala del disegno. Le diverse scale di rappresentazione del prospetto principale della Scuola di Matematica nella Città Universitaria di Roma.

avere nuvole di punti più uniformi, sia nella fase di elaborazione, rendendo la restituzione bidimensionale coerente con i dati acquisiti.

Il discorso si amplia leggermente quando dalle elaborazioni bidimensionali si passa alla costruzione di modelli 3D. Se il passaggio dal modello numerico al modello poligonale può essere presto risolto, tramite l'utilizzo di algoritmi che trasformano l'elevatissimo numero di punti in un altrettanto elevato numero di superfici²⁰, il passaggio al modello geometrico merita un'ulteriore specificazione. La costruzione di un modello matematico, per sua stessa definizione, necessita che siano note le curve (e le loro proprietà) per descrivere superfici e solidi. Essa prende avvio dal riconoscimento delle forme e delle loro geometrie sulla base del modello numerico e prevede lo stesso approccio alla discretizzazione utilizzato per i modelli 2D. La differenza sostanziale, tuttavia, è costituita dalla obbligatoria distinzione tra la scala

²⁰ Fantini F. 2011.



del disegno, che caratterizza la rappresentazione 2D (fig.1), e la scala del modello²¹, da considerare nel caso di elaborazioni 3D (fig.2), non esprimendo più il livello di dettaglio in termini di vicinanza tra le linee del disegno, ma in termini di contenuto informativo²².

Questa breve disamina dimostra come, quali che siano le elaborazioni da produrre, il rilievo costituisca la "spina dorsale", sul livello geometrico e informativo, per la costruzione di modelli del patrimonio costruito, estendendo la sua importanza anche al campo dell'HBIM. Trovare una corretta modalità con cui relazionarsi al dato di rilievo all'interno di processi HBIM è la seconda delle ragioni che rende tali processi non propriamente semplici. Attualmente, la definizione di una metodologia per passare da un modello numerico di un manufatto architettonico ad un modello parametrico informativo dello stesso, è ancora un campo di forte sperimentazione²³.

Fig. 2/ La scala del modello digitale. Diversi livelli di dettaglio nella modellazione del Tempio A del Santuario Etrusco di Pyrgi (Santa Severa, Roma).

²¹ Senatore L.J. 2012.

²² Ippolito A., Borgogni F. 2011.

²³ Bianchini C., Attenni M., Griffo M. 2022.

Il limite delle piattaforme usate per la modellazione risiede non tanto nella possibilità di integrare diverse tipologie di dato, quanto più nella ricostruzione dell'identità semantica degli oggetti digitali, garantendo la corrispondenza con quelli reali. Si tratta, in buona sostanza, di condurre operazioni di reverse engineering a partire dalla nuvola di punti, la cui segmentazione costituisce il passaggio fondamentale per identificare i confini delle superfici ed agevolare il processo di modellazione. All'interno dei software BIM authoring, tale attività viene svolta identificando e modellando curve e superfici direttamente sulla nuvola di punti, talvolta manualmente, talvolta tramite l'uso di plug-in²⁴ e algoritmi²⁵ come nei cosiddetti processi *Scan-to-BIM*. I primi consentono di importare nuvole di punti decimate, con il vantaggio di connettervi le primitive e trasformare i singoli elementi in snap utilizzabili per una definizione delle geometrie attraverso operazioni di overlay. I secondi, se applicati sulle nuvole di punti, separano le porzioni che si trovano tutte su uno stesso piano, ne identificano i confini e definiscono la forma delle superfici, generando poligoni in corrispondenza del contorno di ciascuna regione riconosciuta; se invece applicati a partire da processi *Structure from Motion*, sfruttano il riconoscimento di zone omogenee dal punto di vista cromatico. Tali applicazioni mostrano che è stato fatto un grande passo verso l'automatizzazione del processo di modellazione da point-cloud. Tuttavia, i processi in atto presentano alcune limitazioni principalmente perché, al momento, la lettura e l'interpretazione dei dati qualitativi di uno spazio o di un oggetto sono attività quotidiane per l'architetto, ma molto difficili per i computer. Inoltre, gli algoritmi e i *plug-in* dei software risultano facilmente applicabili per la segmentazione e la modellazione automatica di superfici piane o geometrie primitive, ma generano risultati errati o poco

²⁴ Garagnani S., Manferdini A.M. 2012.

²⁵ Wang C., Cho Y. K., Kim C. 2015; Hong S., Jung J., Kim S., Cho H., Lee J., Heo J. 2015; Hong S., Jung J., Kim S., Cho H., Lee J., Heo J. 2014.

accurati quando si tenta di rappresentare geometrie complesse e irregolari degli edifici storici.

L'approccio HBIM: quale modello?

La scelta di estendere il BIM al campo dell'architettura esistente prevede che essa venga documentata secondo il piano storico, costruttivo, e semantico, oltre che su quello geometrico-morfologico come in ogni processo di modellazione 3D. L'HBIM, appositamente sviluppato per preservare il patrimonio culturale proponendone la gestione in ambito digitale, prevede l'utilizzo di strumenti che risultano spesso molto rigorosi, sia rispetto alle premesse concettuali su cui si fondano, sia rispetto alle modalità prettamente operative. Alla mancanza di flessibilità degli strumenti software corrisponde però un'ampia libertà nell'approccio alla modellazione di edifici esistenti²⁶ in cui, tuttavia, è possibile riconoscere alcuni punti fermi: l'interazione con il dato di rilievo e la costruzione di oggetti digitali tramite le operazioni sulle famiglie²⁷. Inoltre, a prescindere dalle strategie usate per la modellazione degli elementi sempre diversi, proprio come i manufatti storici a cui appartengono, tre risultano i momenti principali del flusso di lavoro (fig. 3).

Il primo, conoscitivo, riguarda la raccolta di dati di rilievo e di documentazione storica, le cui analisi e sintesi consentono di definire spazialmente le parti visibili delle superfici, riconoscere i materiali che le caratterizzano, scoprire le regole costruttive e le trasformazioni che, in passato, hanno coinvolto l'edificio analizzato. L'aspetto conoscitivo riveste un'importanza fondamentale per l'impostazione del processo HBIM: la modellazione degli oggetti parametrici è associata alla definizione di materiali e componenti della costruzione, ma anche agli aspetti culturali e alla loro memoria storica; inoltre, l'inserimento dell'elemento temporale per rappresentare

²⁶ Bianchini C., Attenui M., Griffo M. 2022.

²⁷ L'utilizzo delle famiglie nei processi BIM e HBIM consente di ottimizzare la modellazione. Le famiglie di sistema sono costituite da elementi 2D e 3D che in campo edilizio concorrono alla costruzione di un edificio (muri, tetti, scale, etc.) e non possono essere modificate. Le famiglie caricabili, invece, costituiscono una libreria di oggetti esterna, possono essere personalizzate e adattate al modello, definendo le impostazioni e i parametri e sviluppando diversi tipi di una stessa famiglia.

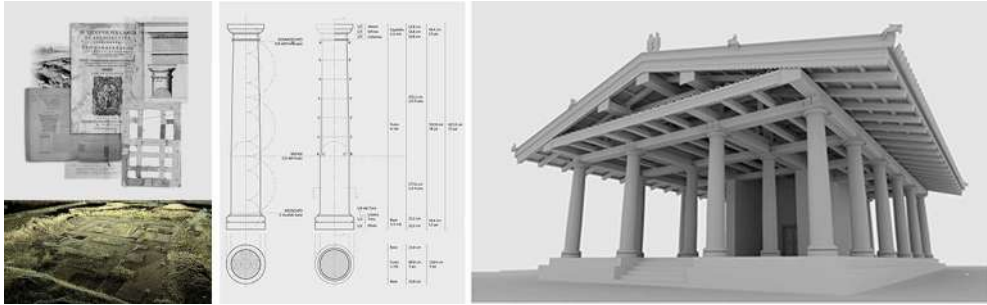
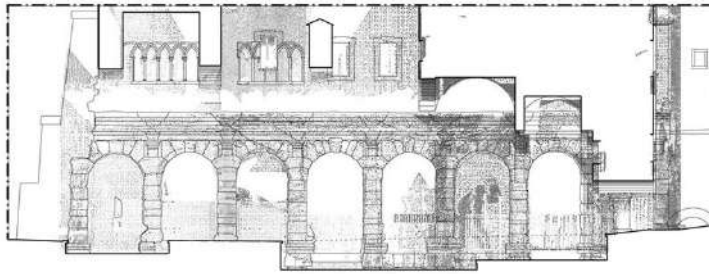


Fig. 3/ L'approccio alla costruzione del modello del Tempio B del Santuario Etrusco di Pyrgi (Santa Severa, Roma). Le fasi del flusso di lavoro: la raccolta di dati tramite indagini dirette e indirette, la scomposizione e l'analisi degli elementi costitutivi, la modellazione.

28 L'ontologia è la dottrina che si occupa di uno dei primi e fondamentali problemi della filosofia: definire cosa esiste e di conseguenza cosa non esiste e/o è una rappresentazione di un altro oggetto. Nel campo dell'informatica, l'ontologia è una rappresentazione formale, condivisa ed esplicita, di una concettualizzazione di un dominio di interesse. Con riferimento alla rappresentazione della conoscenza, viene utilizzata per descrivere il modo in cui diversi schemi vengono combinati in una struttura di dati contenente tutte le entità rilevanti e le loro relazioni in un dominio. Con riferimento ai processi HBIM, le ontologie vengono applicate prima nello studio delle caratteristiche degli oggetti reali che costituiscono il patrimonio architettonico esistente, poi all'oggetto modellato, aggiungendo un orientamento agli elementi che lo costituiscono basato su assiomi logici e sulla concettualizzazione esaustiva e rigorosa di entità, relazioni, regole e vincoli.

gli eventi che si sono verificati durante l'intero ciclo di vita dell'edificio, fornisce una lettura più approfondita dello stato di conservazione e favorisce lo sviluppo di un più adeguato programma di manutenzione. Il secondo, che potremmo definire di filtro, si serve di un processo ontologico²⁸ per la conoscenza di tutte le informazioni semantiche raccolte (fig. 4). La definizione delle ontologie può essere sviluppata nella rappresentazione degli oggetti a partire direttamente dalla nuvola di punti, costituendosi così come operazione fondamentale nel passaggio dai modelli numerici ai modelli parametrici. La terza fase, quella della modellazione vera e propria, procede in seguito alle operazioni di segmentazione sui modelli numerici e all'integrazione con i dati semantici (fig. 5). Viene verificata la possibilità di utilizzare librerie di oggetti preimpostati, modificandoli, o se ne costruiscono delle altre appositamente legate al caso di studio analizzato. Infine, si considerano gli aspetti più specialistici, analisi strutturali o simulazioni energetiche, il calcolo dei tempi e costi di realizzazione di eventuali interventi e altre funzioni che miglioreranno il modo di gestire la manutenzione degli edifici in esame in virtù di quella interoperabilità che caratterizza i processi BIM e HBIM.

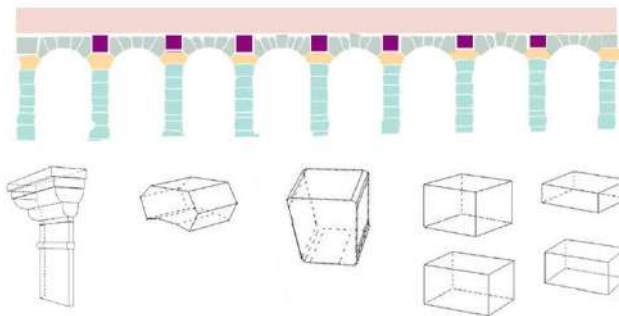
Il punto critico di tali processi risiede più nella logica costitutiva del processo che nella modellazione intesa come ricostruzione della geometria della forma. L'integrazione di due strumenti per la rappresenta-



1 rilievo ed elaborazione 2D



2 scomposizione semantica



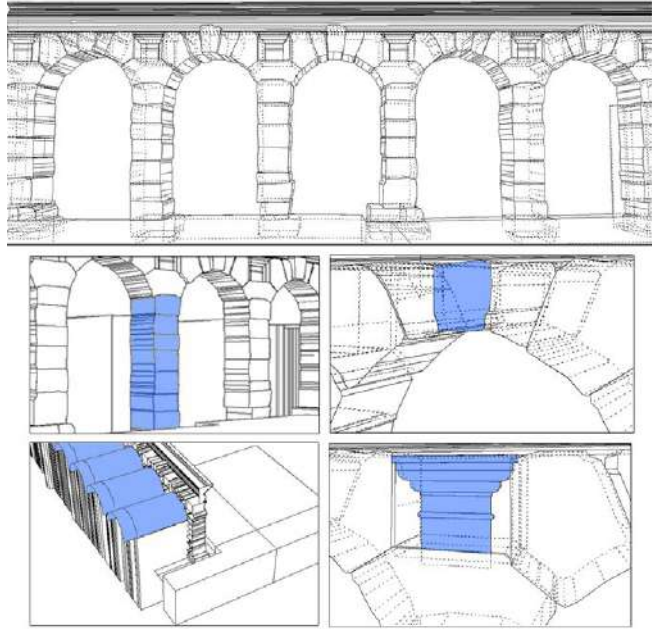
3 analisi degli elementi compositivi

zione semantica dell'esistente, il BIM e l'ontologia, nasce dalla consapevole impossibilità di ottenere una coincidenza assoluta tra questi due sistemi descrittivi e quello relativo alla realtà materiale delle fabbriche realizzate. La mancanza di regole assolute con cui approcciare alla modellazione risulta ancora evidente anche nello scollamento metodologico riscontrato tra le applicazioni in campo professionale e quelle nell'ambito della ricerca. Nel primo caso, la tendenza è quella di costruire un modello altamente corrispondente al rilievo, perseguendo la strada della verosimiglianza, talvolta senza sfruttare a pieno le potenzialità degli strumenti messi a disposizione

Fig. 4/ L'approccio alla costruzione del modello del Tempio del divo Claudio (Roma): la semantica del costruito.

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

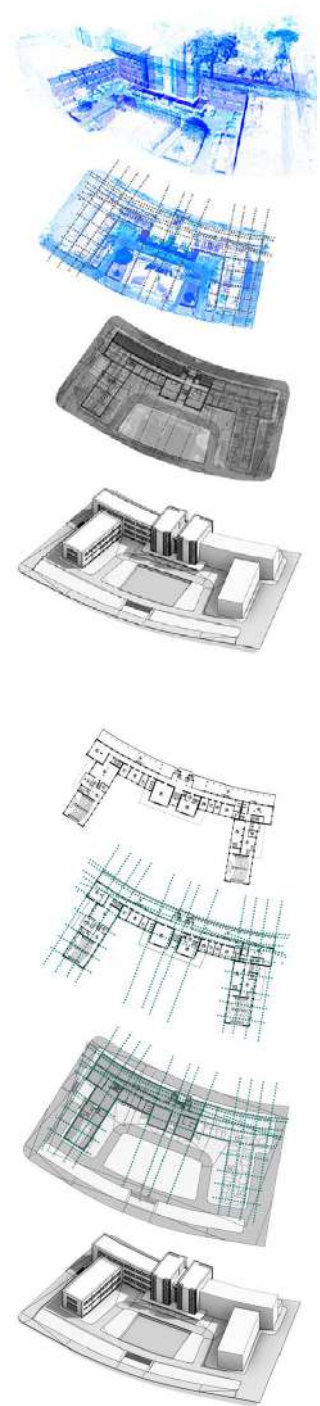
Fig. 5/ L'approccio alla costruzione del modello del divo Claudio (Roma): genesi degli oggetti digitali.



dai software in termini di creazione e modifica della geometria degli elementi e della loro ripetizione, ma realizzando modelli che è possibile valutare secondo parametri quantitativi. Nello specifico è possibile valutare la qualità del dato di rilievo in termini di densità della nuvola di punti e di accuratezza metrica, misurando lo scostamento tra il modello numerico e quello parametrico. Nel secondo caso, in particolare nel settore disciplinare della rappresentazione, si guarda alla costruzione del modello in modo prevalentemente concettuale, considerando il suo carattere di idealità, intesa proprio come espressione dell'idea di architettura, senza tralasciare il tema dell'attendibilità e della corrispondenza tra reale e ideale²⁹. Dal punto di vista teorico, entrambi gli approcci partono dalla necessità di avere un buon livello di approssimazione tra la realtà e il suo il modello, in modo tale che su di esso possano basarsi le simulazioni, le analisi e le previsioni di interventi successivi, verificando la compatibilità delle

²⁹ Bianchini C. 2016, Attenni M., Rossi M.L. 2019.

diverse scelte prima di attuarle. Dal punto di vista pratico, invece, essi conducono alla realizzazione di due modelli completamente diversi, portando inevitabilmente ad avere differenze nei risultati delle simulazioni realizzate su di essi. Il modello afferente alla prima tipologia, che potremmo definire *as is*, descrive lo stato di fatto dell'oggetto al momento dell'acquisizione dei dati di rilievo (fig. 6); la costruzione del secondo tipo di modello, invece, ricerca il legame tra il dato di rilievo e l'idea di progetto alla base della realizzazione dell'edificio nel suo aspetto compositivo, geometrico, tecnologico, attraverso sostanziali approfondimenti storici e bibliografici (fig. 7). Senza ignorare le tracce ancora tangibili dell'edificio, analizzando gli elaborati di progetto si identificano le componenti che hanno portato alla costruzione dell'involucro edilizio e all'articolazione degli spazi, formalizzate con alcune approssimazioni rispetto alla configurazione reale degli elementi, inevitabilmente influenzata da ciò che avviene al momento della produzione e della posa in opera. Appare evidente che in entrambi gli approcci alla modellazione possano riscontrarsi delle potenzialità e delle criticità. Il modello ideale sembra legato ad una linea di ricerca che può risultare forzata rispetto all'interoperabilità necessaria per la gestione di un edificio che, per ragioni legate alla realizzazione dell'architettura, deve fare i conti con l'autonomia del costruito rispetto all'idea di progetto. In quest'ottica, il modello *as is*, rappresenta la complessità dell'architettura senza eccessive semplificazioni. Tuttavia, nell'ambito dei beni architettonici esistenti, sono coinvolte figure professionali – storici, restauratori, architetti – la cui attività non prescinde mai da una conoscenza profonda dell'edificio su cui sono chiamati a intervenire, che il dato di rilievo, e il modello *as is* costruito solo sulla base di esso, non riescono a garantire. L'idea di poter usare

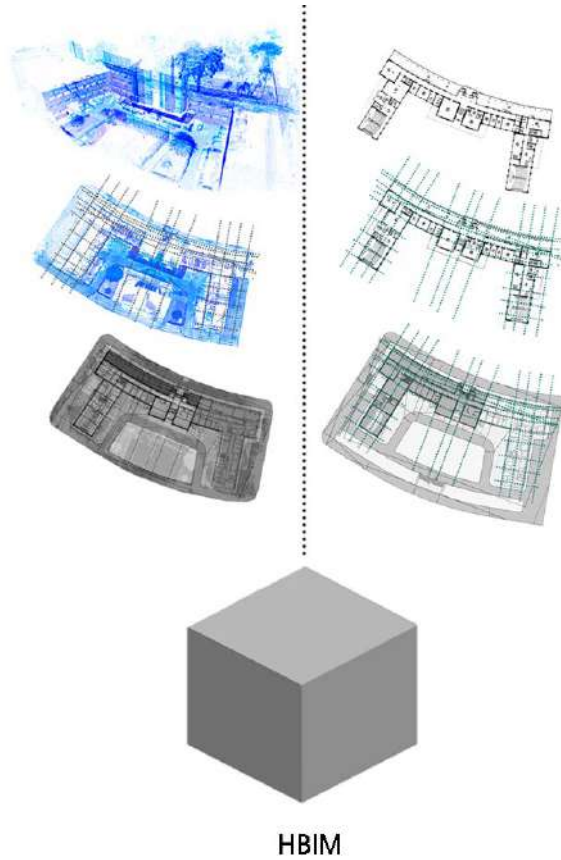


HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig.6/ Il processo di costruzione del modello partendo dal dato di rilievo.

Fig.7/ Il processo di costruzione del modello partendo dai disegni di progetto dell'edificio.

Fig.8/ L'HBIM come sintesi tra l'approccio volto alla completa corrispondenza con l'oggetto reale e quello volto alla ricerca dell'idealità dell'architettura.



le due tipologie di modello in base alle necessità è concettualmente errata: si andrebbe contro il principio del BIM e dell'HBIM che aspira alla costruzione di un unico modello omnicomprensivo. Occorre quindi indagare quale sia la strada da percorrere per la costruzione di un solo modello digitale, sintesi di entrambi gli approcci (fig. 8), «avvicinando maggiormente la capacità descrittiva del modello virtuale alla realtà concreta dell'oggetto considerato» e che possa effettivamente migliorare la conoscenza, e quindi la tutela, la conservazione e la gestione, del patrimonio architettonico.

3 BIM/HBIM: il tipo

L'applicazione del BIM al patrimonio architettonico esistente ha inizialmente suscitato delle perplessità legate, da una parte, alla pregiudiziale difficoltà di estendere a questa categoria l'obiettivo del miglioramento dei processi produttivi nel mondo delle costruzioni; dall'altra, all'apparente rigidità dell'utilizzo degli strumenti di modellazione nella rappresentazione delle peculiarità degli edifici con un alto valore storico. Tuttavia, le potenzialità di questo processo non sono da ricercare soltanto nell'ottimizzazione della gestione di un manufatto, ma nella possibilità di aspirare ad una sua completa conoscenza ed esprimerla tramite un modello informato. Tale attività affronta le implicazioni relative alla modellazione di particolari conformazioni di un edificio storico, e alla possibilità di andare oltre le superfici visibili e misurabili, spingendosi in un campo spinoso che rende inevitabili alcune riflessioni teoriche. La conoscenza della realtà condotta tramite l'HBIM si fonda su alcuni

concetti inerenti la sfera della rappresentazione e l'approccio alla costruzione di modelli, con un occhio vigile agli strumenti che, dal punto di vista pratico, rendono l'HBIM un processo di reverse engineering in cui l'organismo architettonico viene scomposto nei suoi elementi, successivamente modellati sotto forma di oggetti digitali. Si affrontano quindi i rischi connessi ad un'eccessiva semplificazione delle forme e ci si scontra con la volontà di trasporre in un modello digitale gli innumerevoli aspetti di singolarità e di unicità che caratterizzano il patrimonio esistente.

Questa premessa dimostra la necessità di non confinare il BIM alla sfera della progettazione e della tecnologia, in quanto alcune considerazioni sono proprie dell'ambito della rappresentazione. Non a caso, è proprio la carta del rilievo architettonico a definire 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»¹, rendendo la fase di elaborazione dei dati estremamente congruente con gli obiettivi del BIM.

In questo quadro, affrontare le questioni teoriche connesse all'ambito della modellazione del patrimonio esistente apre a scenari di sviluppo della ricerca estremamente interessanti.

Il modello ideale

L'architettura, nella nostra tradizione culturale, può essere considerata la sintesi di tre componenti: quella teorica, quella storica, quella materiale. Essa esprime concetti di ordine tecnico, estetico, funzionale, formale, concretizzandoli in forme reali, inevitabilmente legate all'epoca storica a cui appartengono. L'insieme di opere edificate sotto l'attenta supervisione dell'architetto si relaziona, da una parte, con

¹ AA.VV. 2000.



gli aspetti costruttivi, fisici e spaziali, che prendono forma nella costruzione e nell'uso; dall'altra, con gli aspetti simbolici, che trascendono l'ambito specifico di applicazione e si connettono con il significato teorico che si cela dietro l'idea di architettura. Il modello, inteso come prodotto della rappresentazione, si configura come la sintesi della dimensione gnoseologica, ovvero il processo critico di elaborazione dell'idea dell'oggetto, e della dimensione tecnica, derivata dal codice usato dall'architetto per rendere il modello intelligibile². I due ambiti non sono tra loro indipendenti ma trovano un punto di contatto nella rappresentazione, che permette la conoscenza di opere anche di cui non avremo mai esperienza diretta mediante modelli descrittivi di intenzioni progettuali (modelli predittivi) e modelli di realtà non più esistenti o mai esistite (modelli ricostruttivi)³ (fig. 1). Tuttavia, l'ambito di ricerca indagato ruota intorno ad una terza tipologia di modelli: quelli descrittivi della realtà esistente.

Da un punto di vista teorico, viene riconosciuto il ricorso all'uso di modelli come veicolo comunicativo del pensiero architettonico. A partire dall'osservazione dell'oggetto reale, si formalizza nella mente dello studioso l'idea dell'oggetto mediante il riconoscimento e l'astrazione dei suoi caratteri distintivi e delle sue componenti, espresse su di un supporto cartaceo o digitale mediante processi di scomposizione semantica, discretizzazione e

Fig. 1/ Modelli predittivi, modelli della realtà esistente e modelli ricostruttivi. A sinistra il disegno concettuale di Gio Ponti per la Scuola di Matematica nella Città Universitaria di Roma (pubblicato in Ponti G. 1994), al centro il modello di rilievo, a destra il modello tridimensionale.

² Ugo V. 1994, p.12.

³ Centofanti M. 2018.

approssimazione. Il modello manifesta non solo i rapporti figurativi, gli aspetti dimensionali, materici e funzionali, ma comprende anche le forme e i modi di organizzazione del pensiero. Esso riunisce i concetti di mimesis, misura e geometria, cardine del pensiero e della realizzazione architettonica, ma viene inteso anche come dispositivo teoretico che consente di proporre riflessioni da un punto di vista più ampio, non essenzialmente relative ad un singolo oggetto. La nozione di mimesis è da intendersi non soltanto come la riproduzione di un'immagine, ma come fattore che riesce ad esprimere, produttivamente e progettualmente, il contenuto più profondo dell'opera architettonica, la sua storicità, e i suoi rapporti con gli aspetti teorici. La misura (dunque la commensurabilità) comprende le determinazioni metriche e quantitative ma si fonda essenzialmente su parametri qualitativi, modalità di composizione dello spazio, che vengono logicamente formalizzati all'interno del modello. La geometria e i modi di elaborazione delle sue proposizioni fondamentali risultano indispensabili per comprendere la consistenza dei rapporti tra le forme del pensiero, la rappresentazione e la costruzione dell'architettura.

Da un punto di vista applicativo, è opportuno restringere il campo ponendo l'attenzione sui modelli morfometrici tridimensionali digitali, con l'obiettivo di mettere a fuoco con più chiarezza le problematiche legate all'ambito di ricerca. Il ricorso a questa determinata tipologia di modelli è legato alle attuali possibilità di visualizzazione e manipolazione dello spazio tridimensionale offerte dalla tecnologia informatica: esplorare i modelli forse in modo più efficace dell'opera stessa, per la possibilità di osservarla con diversi livelli di dettaglio e da diversi punti di vista; la capacità di lavorare su dati eterogenei, registrando lo stato di fatto e documentando le trasformazioni che i manufatti hanno subito nel tempo; prefigurare

interventi progettuali di vario genere. I modelli tridimensionali cui si fa riferimento appartengono a due categorie: i modelli discreti e i modelli continui⁴. I primi vengono prodotti in seguito alla campionatura della realtà, i secondi in seguito ad una sua interpretazione, perseguendo l'obiettivo della conoscenza che denota il processo di ogni rilievo e lo rende complesso. Entrambi vengono realizzati in seguito ad operazioni di sintesi, riduzione e proiezione e, in alcuni casi, anche di sezione⁵. Nel caso dei modelli discreti, l'esempio maggiormente significativo è costituito dai modelli numerici derivanti dall'elaborazione dei dati di rilievo. In questo caso, la componente fisica dell'oggetto, di fatto espressione di una continuità strutturale e superficiale, subisce un processo di sintesi volto ad ottenere una copia digitale costituita da elementi discontinui⁶. La riduzione si formalizza definendo la scala dei modelli, compatibile con l'incertezza della misura, necessaria a conseguire la lettura dell'oggetto in esame compatibile con gli obiettivi del rilievo. Le operazioni di proiezione e sezione, invece, consentono di trasferire i caratteri spaziali di un modello tridimensionale a delle rappresentazioni bidimensionali⁷ (fig.2). Tra i modelli continui, invece, si annoverano quelli derivanti da processi BIM e HBIM. Essi si compongono per aggregazione delle singole parti riconosciute e studiate, e la generazione della forma è legata al controllo geometrico e ai vincoli di relazione tra gli elementi. Anche in questo caso, l'operazione di sintesi, che si formalizza in seguito ad un processo di scomposizione semantica dell'oggetto reale, è quella che definisce la struttura del modello. La riduzione non coincide con la scala degli elaborati bensì con l'impostazione dei diversi livelli di sviluppo (LOD, LOG, LOI)⁸ a cui, analogamente a quanto accadeva con le scale di rappresentazione, corrisponde il dettaglio di approfondimento grafico del modello.

4 Queste due diverse tipologie di modelli sono associate a due metodi di rappresentazione informatica: quella numerica per i modelli discreti, e quella matematica per i modelli continui (Migliari R. 2008). La prima descrive l'oggetto attraverso elementi discontinui, i punti e le loro coordinate; la seconda lo descrive per mezzo di equazioni che esprimono la continuità delle superfici.

5 Migliari R. 2001.

6 Ciò è vero sia in riferimento alle metodologie di acquisizione massiva (scansione laser 3D, *Structure from Motion*), sia a quelle tradizionali (rilievo diretto, topografia). Nel primo caso, il passaggio di sintesi tra la continuità dell'oggetto reale e la discontinuità che caratterizza i modelli numerici – le nuvole di punti – è demandata all'impostazione di parametri non legati alla lettura dell'oggetto ma al processo con cui i dati vengono acquisiti. Nel secondo caso, invece, la sintesi discende da considerazioni critiche sull'oggetto che guidano la scelta di cosa misurare.

7 Questa operazione, sebbene nel caso di metodologie di acquisizione tradizionale sia necessaria a descrivere i caratteri quantitativi e qualitativi dell'oggetto in esame, nel caso delle metodologie di acquisizione massiva, invece, è solo una tra tante. Basti pensare, ad esempio, che sui modelli numerici derivanti dall'elaborazione di dati di rilievo è possibile condurre operazioni, automatiche o manuali, per la segmentazione, applicare procedure di machine learning, trasformare il dato costituito da un insieme numerosissimo di punti in un modello costituito da poligoni.

8 Cfr. Parte prima, par. «Il BIM: presupposti teorici e applicazioni».

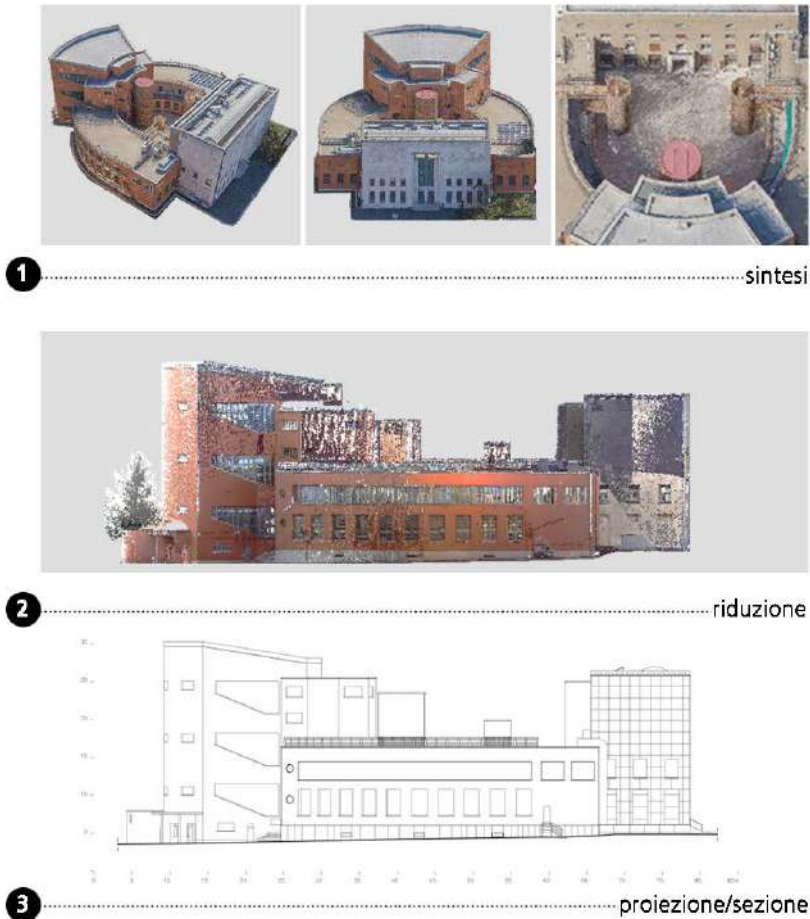
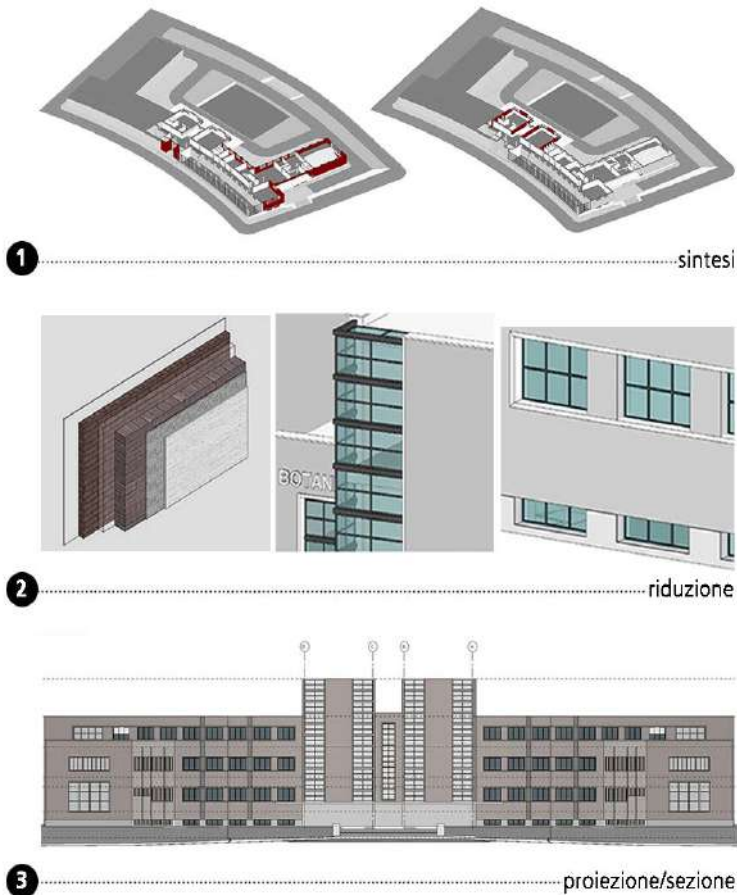


Fig. 2/ Le operazioni di sintesi, riduzione e proiezione e sezione sui modelli discreti della Scuola di Matematica nella Città Universitaria di Roma.

Le operazioni di proiezione e sezione, come per i modelli discreti, consentono di leggere solo alcune informazioni, estraendo dal modello tavole tematiche, abachi e quantità (fig.3).

Il modello prodotto tramite processi BIM e HBIM si configura come un collettore di dati ed informazioni eterogenee che contribuiscono ad approfondire il quadro conoscitivo generale sull'oggetto architettonico. Tuttavia, questa integrazione non è semplice: essi sono spesso legati ad aspetti specifici e connessi ai relativi linguaggi scientifici, talvolta incompatibili o comunque non studiati per essere messi in



comunicazione con un lessico specifico di un'altra tipologia, anche se complementari e necessari per una conoscenza estesa dell'oggetto di studio. Il problema nasce, a livello teorico, all'interno degli ambiti scientifici di riferimento, ma ha inevitabilmente delle ricadute, a livello pratico e operativo, sulle applicazioni tecnologiche che diventano, per uso e fruizione, trasversali a più campi di applicazione. La risoluzione di questo aspetto da parte di un modello derivante da processi BIM e HBIM consente di considerarlo come la sintesi di dati, informazioni e modelli effettivamente integrabili, e che, pertanto, ambisce ad essere il

Fig. 3/ Le operazioni di sintesi, riduzione e proiezione/sezione sui modelli continui dell'Istituto di Botanica nella Città Universitaria di Roma.

modello di riferimento per eccellenza, considerato ideale anche nell'accezione letterale, inteso come ciò che risponde all'idea di perfezione⁹. I processi BIM e HBIM, inoltre, estendono la conoscenza di un organismo architettonico, sia esso progettato come nel caso del BIM, o già esistente come nel caso dell'HBIM, anche da un altro punto di vista. Si tratta della possibilità di confrontare le proprietà di un oggetto con le stesse ravvisate in altri modelli. Se si riconoscono delle caratteristiche o degli elementi comuni in due o più oggetti analizzati, il modello li assimila attraverso dei parametri che permettono di comparare quantitativamente le proprietà individuate. Se da una parte, quindi, il modello sintetizza e riduce la continuità del mondo reale, dall'altra ne estende la conoscenza mediante il confronto con oggetti contenenti elementi analoghi, o appartenenti allo stesso tipo, o in cui è possibile riconoscere uno stesso linguaggio formale.

Il tipo architettonico

L'elaborazione di modelli costruiti in un ambito digitale, parametrico, associativo e informato trae vantaggio dalle possibilità di costruzione e di gestione della forma attraverso l'utilizzo di un lessico universale, afferente al mondo della geometria descrittiva e ai codici in essa contenuti. Questo approccio esplicita non solo la genesi delle geometrie parametriche, ma anche l'intenzione progettuale insita nella costruzione dell'oggetto reale e dei suoi elementi. Lo studio di queste caratteristiche, esteso genericamente al patrimonio costruito, investe architetture molto lontane tra di loro per epoca storica, contesto geografico, principi compositivi, criteri e tecnologie costruttive. Tuttavia, in moltissimi casi, è fortemente riconoscibile una matrice progettuale stilistica e geometrica: guardando al di là del carattere di unicità che contraddistingue ogni architettura, è possibile

⁹ <https://www.treccani.it/vocabolario/ideale/>

¹⁰ Il tema non nasce con il recente sviluppo dei processi BIM e HBIM ma è legato al concetto di rappresentazione, che ha delle radici ben più lontane. Giuseppe Fusco definisce la rappresentazione come l'astrazione di alcune caratteristiche di un oggetto reale, messe in relazione tramite il suo modello. Sebbene gli aspetti sintetizzati in un modello di questo tipo siano solo alcuni dei tanti che sarebbe possibile analizzare, comportando per un verso un impoverimento dell'oggetto, dall'altra ne costituisce una sua estensione che deriva dal confronto con oggetti simili (Fusco G. 1986).

riconoscere l'adesione a leggi geometriche, di forma e di aggregazione. Proprio sulla base di questa rappresentatività tipologica è possibile individuare problematiche comuni che trovano riscontro nei processi HBIM. Riconoscere codici, geometrie e relazioni tra le parti sembra essere la strada da perseguire nella ricerca di un approccio condiviso alla modellazione parametrica informata che consenta di superare le difficoltà riscontrate nella costruzione di modelli di manufatti storici.

In questo modo l'HBIM diventa una elaborazione originale di un'idea fondamentale "classica", intendendo con questo termine una «qualità da perseguire per una forma che aspiri a [...] un ordine corrispondente alla natura dell'edificio e una durata corrispondente al tempo di una cultura dell'abitare [...] affinché la costruzione non si esaurisca in un atto tecnico»¹¹. In questo modo viene esplicitato l'approccio intellettuale, razionale, ordinato e logico di un progettista nei confronti della sua opera, allontanandosi dalle caratteristiche peculiari del singolo edificio per raggiungere i concetti di generalità e durata, compresi in quello di tipo¹².

Il tipo architettonico sostanzia non le peculiarità di un oggetto, ma il ripetersi di processi mentali, di qualità formali, di un rigore progettuale in cui gli schemi compositivi, le tecniche e i materiali accomunano più oggetti. Questa chiave di lettura consente di proporre l'approccio legato alla modellazione di un edificio storico seguendo strade complementari: una si occupa di comprendere le caratteristiche formali, la struttura dell'impianto e le soluzioni costruttive; l'altra studia gli elementi secondo criteri ontologici inserendoli all'interno di precise categorie funzionali, associando ai modelli ideali di oggetti parametrici le caratteristiche peculiari degli elementi costruiti. L'operazione di lettura e scomposizione della fase conoscitiva – che prescinde da tutto ciò

¹¹ Moccia C. 2016, p. 9.

¹² Moccia C. 2016.

che l'HBIM ha innovato nella gestione del patrimonio edilizio esistente – ha un ruolo fondamentale, poiché da questa derivano le condizioni e i vincoli della modellazione. Per edifici nei quali si riscontrano le stesse intenzioni progettuali e qualità tecniche affini, questi vincoli e queste condizioni potrebbero essere, se non gli stessi, almeno simili. Per chiarire meglio quest'ultima espressione è necessario richiamare i concetti di similarità tra edifici, di appartenenza tipologica e di categoria, che possiamo racchiudere nella parola "tipo". Il tema, plurimamente studiato da progettisti, studiosi ed esponenti di spicco della storia dell'architettura, riguarda il significato etimologico e semantico della parola: dal latino *typus*, dal greco *typos*, ovvero impronta, carattere, figura, modello.

In termini generali, il tipo viene definito senza alcun riferimento all'architettura come «esemplare singolo o schema ideale, cui sia riconducibile, sulla base di caratteristiche comuni fisse, una molteplicità di oggetti; rappresentazione convenzionale che tende a mettere in risalto tratti fisionomici o atteggiamenti comuni a molti individui»¹³. Il termine racchiude la «suddivisione, distribuzione e classificazione di una molteplicità di individui, oggetti, fatti, elementi e fattori, omogenei e simili, in gruppi caratterizzati dall'appartenenza a determinati tipi formali e funzionali, o comunque dalla possibilità di venire ricondotti ad altrettanti tipi»¹⁴.

In relazione ai concetti alla base della cultura architettonica, Quatremère de Quincy inserisce la definizione di tipo nel *Dizionario storico di architettura*, accostandola alle nozioni di "carattere", "idea" e "stile". «La parola tipo non presenta tanto l'immagine d'una cosa da copiarsi o da imitarsi perfettamente, quanto l'idea di un elemento che deve egli stesso servire di regola al modello. Così non si dirà punto (od almeno non dovrebbe dirsi) che una statua, una

¹³ Devoto G., Oli G. 2009.

¹⁴ <https://www.treccani.it/vocabolario/tipologia/>

composizione di un quadro ha servito di tipo alla copia che se n'è fatta; ma se un frammento, uno schizzo, il pensiero d'un maestro, una descrizione più o meno vaga, abbia dato origine nella immaginazione d'un artista ad un'opera, si dirà che il tipo ne è stato a lui fornito con una tal o tal'altra idea, per un tale o tal altro motivo od intendimento. Il modello, inteso secondo la esecuzione pratica dell'arte, è un oggetto che si deve ripetere tal qual è; il tipo è, per lo contrario, un oggetto, secondo il quale ognuno può concepire delle opere, che non si rassomiglieranno punto fra loro. Tutto è preciso e dato nel modello; tutto è più o men vago nel tipo»¹⁵.

Paolo Portoghesi ha una visione del concetto molto ampia, che comprende la relazione con l'opera architettonica, senza definirla nel dettaglio: «Nell'edilizia, come in ogni altra attività, l'uomo utilizza l'esperienza attraverso la memoria, operante a livello di coscienza spontanea, delle risoluzioni dei problemi analoghi attuate precedentemente. Queste sono presenti nell'artefice come un corpo di nozioni mutuamente organizzate secondo una finalità unitaria, vero organismo edilizio a priori che, con termine derivante dal greco *týpos*, modello, chiamiamo tipo [...] Il tipo condiziona l'intera gamma degli oggetti edilizi, senza limitazioni di scala, dal materiale da costruzione agli organismi territoriali: è infatti legata al tipo la nozione "materiale", distinto da "materia" in quanto implicante l'uso per il quale è finalizzato, tipico in quanto comprendente, secondo la definizione data, un corpo di cognizioni organizzate mutante organicamente nella storia: un materiale ha forma, dimensioni, resistenza atte ad un uso predeterminato, dal quale si può relativamente prescindere solo a pena di perdita di rendimento; ugualmente tipiche sono le componenti di un organismo territoriale – percorsi, insediamenti, aree produttive, nuclei urbani – e le relazioni intercorrenti

15 de Quincy Q. 1992.

tra queste: tanto che, sulla base di tale tipicità, possiamo verificare, ad esempio, la distribuzione spiccatamente modulare dei nuclei urbani di analoga grandezza, l'omogeneità di comportamento dei percorsi riguardo all'orografia, ecc [...] Riassumendo possiamo dire che il tipo come qui è definito è caratterizzato dall'essere la proiezione logica totale dell'edificio, organismo totale, con una propria storicità dipendente dai differenti margini di individuazione derivanti dall'uso che se ne fa a livello di coscienza critica, in funzione di una scelta pertinente del livello di tipicità adatto; a livello di coscienza spontanea, invece, il tipo coincide sempre con il "modello" totale dell'organismo edilizio individuato che viene a formare. Il processo di formazione e di intercambio della tipologia edilizia è dovuto alla derivazione dei vari tipi da matrici comuni che, per essere proprie di una base antropica generalizzabile per le differenti culture, anche se realizzate in epoche diverse a seconda dei vari livelli culturali, sono necessariamente simili almeno quanto lo sono gli uomini delle diverse civiltà»¹⁶.

Come lui, Carlos Martí Arís accoglie la concezione adimensionale del tipo, che identifica piuttosto come struttura formale «da considerarsi come una chiave analitica che, con maggiore globalità e profondità, restituisce la natura peculiare dell'architettura. Il tipo è di natura concettuale, non oggettuale; il tipo comporta una descrizione attraverso la quale è possibile riconoscere gli oggetti che lo costituiscono; il tipo si riferisce alla struttura formale (si parla di tipo dal momento in cui riconosciamo l'esistenza di "similitudini strutturali" tra oggetti architettonici, al di là delle loro differenze al livello più apparente e superficiale). Questo principio – del tipo – pone il problema della forma in termini di massima generalità (al di là delle epoche e degli stili). La tipologia non è mera classificazione. Il fine della classificazione

¹⁶ Portoghesi P. 1968.

è descrivere lineamenti differenziali e stabilire una catalogazione del diverso; al contrario, la tipologia (intesa come studio dei tipi) tende a stabilire nessi all'interno di quanto apparentemente è dissimile, creando concatenamenti e provocando risonanze tra oggetti di specie diverse, mostrando le stratificazioni soggiacenti a tante esperienze. E ancora: il tipo non è lo stile. Lo stile lega l'architettura alla storia, a una fase concreta dello sviluppo della cultura materiale, a determinati strumenti e tecniche costruttive. Il tipo esprime la permanenza di aspetti essenziali e pone in evidenza il carattere variabile delle strutture formali che agiscono come punti fissi nel divenire dell'architettura»¹⁷.

Altri studiosi e architetti, invece, legano il tipo alla conoscenza dell'oggetto architettonico genericamente inteso e non necessariamente legato ad un singolo caso. Giulio Carlo Argan intende la tipologia nel suo significato letterale, ovvero come studio dei tipi, che «considera gli oggetti della produzione nei loro aspetti formali di serie, dovuti a una funzione comune o a una reciproca imitazione, in contrasto con gli aspetti individuali. Il tipo ideale non è altro che un'astrazione ed è quindi da escludere che i tipi architettonici offrano criteri di valutazione delle singole opere d'arte. Il fatto, però, che certe tipologie architettoniche si siano formate e si siano tramandate dalla trattatistica alla prassi dell'architettura non può essere contestato. È dunque legittimo il problema delle tipologie sia nel processo storico della architettura sia nel processo ideativo e operativo dei singoli architetti. [...] La nascita di un tipo è dunque condizionata al fatto che già esista una serie di edifici aventi fra loro un'evidente analogia formale e funzionale: in altri termini, quando un tipo si fissa nella prassi o nella tecnica architettonica esso già esiste, in una determinata condizione storica della cultura, come risposta a un insieme di esigenze ideologiche,

¹⁷ Semerani L. 1993, pp.183-194.

religiose, pratiche. Nel processo di paragone e sovrapposizione delle forme individuate per la determinazione del tipo si eliminano i caratteri specifici dei singoli edifici e si conservano tutti e soli gli elementi che compaiono in tutte le unità della serie. Il tipo si configura così come uno schema dedotto attraverso un processo di riduzione di un insieme di varianti formali a una forma-base comune. Se il tipo è il risultato di questo processo regressivo, la forma-base che si trova non può intendersi come mero telaio strutturale, ma come struttura interna della forma o come principio che implica con sé la possibilità di infinite varianti formali e, perfino, della ulteriore modificazione strutturale del tipo stesso. Non è infatti necessario dimostrare che, se la forma finale di un edificio è una variante del tipo dedotto da una precedente serie formale, l'aggiunta della nuova variante alla serie formale determinerà necessariamente un mutamento, più o meno marcato, nel tipo»¹⁸. Anche Vittorio Gregotti considera il concetto prima genericamente, poi applicandolo alla scala dell'oggetto: «Il concetto di tipo è volto in ogni caso ad ordinare la esperienza secondo schemi, che ne permettano l'operabilità (conoscitiva e costruttiva) riducendo ad un numero finito di casi (in quanto schemi più o meno ampi) l'infinità de fenomeni possibili»¹⁹. Il suo punto di vista è analogo a quello di Cesare Cattaneo, secondo cui «La tipologia è lo studio dell'idea, dei modelli che concorrono alla chiarezza e alla leggibilità del progetto; il tipo è ciò che unisce tutte le funzioni particolari in una unica funzione umana. La tipologia come intenso e ricercato studio di tutte quelle caratteristiche formali e funzionali che, insieme, conferiscono all'idea originaria armonia, sintesi, polidimensionalità, necessità»²⁰. Un altro punto di vista è espresso invece da chi riconosce il tipo come elemento essenziale del processo compositivo dell'architettura, più che di quello

¹⁸ AA.VV. 1958.

¹⁹ Gregotti V. 1966, p.145.

conoscitivo e analitico. Per Franco Purini «la tipologia riguarda sostanzialmente sette aspetti dell'operazione compositivo/progettuale e costruttiva. 1. La relazione tra un tema progettuale e i suoi contenuti funzionali. Si tratta di un aspetto che si risolve sostanzialmente in un principio di classificazione rituale e chiama in causa il criterio di comparazione. [...] 2. Una ricognizione e una catalogazione delle relazioni formali tra elementi. Definita da alcuni come tipologia formale essa ha come obiettivo la determinazione di alcune invarianti tra figure geometriche capaci di costruire una serie di morfemi, validi al di là del contenuto del manufatto. 3. Le cellule tettoniche. Tutte le costruzioni sono raggruppate in sistemi che vedono le stesse soluzioni strutturali ripetersi e modificarsi, ma insistendo sempre sul concetto. Declinare tali figure strutturali è il compito di questa particolare accezione del pensiero tipologico. [...] 7. Idealità, vale a dire quel movimento di avvicinamento a una configurazione ideale della formulazione compositiva. Questo tipo ideale non è ricavabile dalla semplice esperienza di precedenti esempi, ma è da questi implicitamente espresso»²¹. Su questa scia, altri considerano il tipo come l'elemento cardine della ricerca formale a cui è subordinata la progettazione architettonica. Secondo Carlo Moccia «la ricerca sulla forma dotata di un valore di genericità si pone l'obiettivo di riconoscere l'essenza di ogni edificio, e di definire le relazioni tra le parti che lo compongono, capaci di corrisponderle. Ogni progetto che aspiri a definire un rapporto tra le parti, dotato di un ordine riconoscibile e di un valore generalizzabile, si può dire che aspiri a definire un tipo»²² (fig.4).

A valle dell'analisi di alcune tra le più significative interpretazioni, la riflessione sul tipo architettonico può essere estesa all'ambito dell'HBIM. Il processo parametrico di modellazione può essere applicato a

²⁰ Fiocchetto R. 1987, p.93.

²¹ Purini F. 2006.

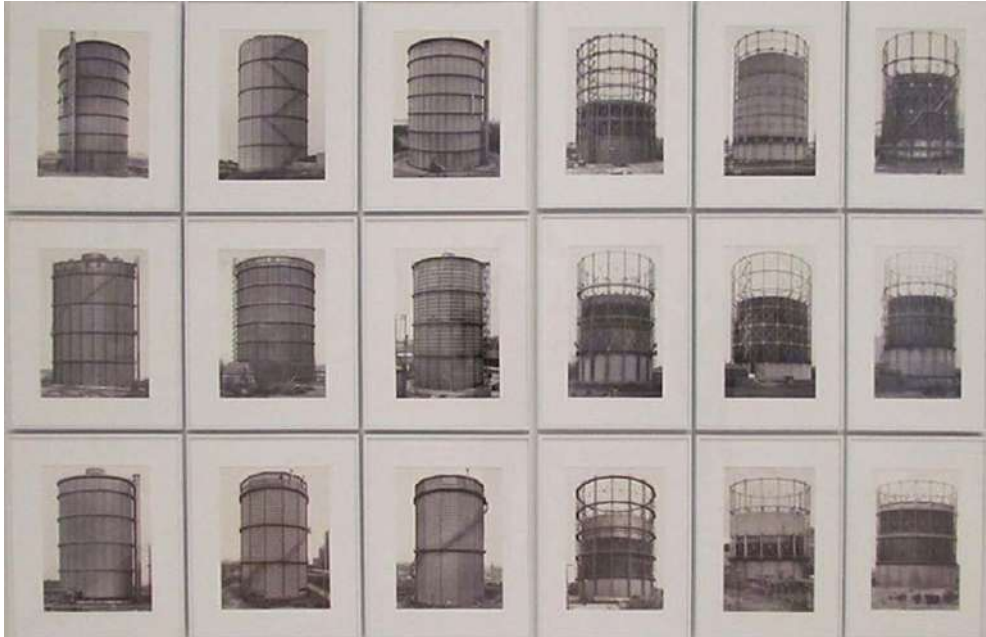


Fig. 4/ Bernd & Hilla Becher, *Gas Holders [Telescoping]*, 1965-1992. L'opera appartiene alla collezione fotografica realizzata dalla coppia per documentare gli edifici industriali della zona di Siegen e della Ruhr. L'obiettivo è classificare per tipologie questi soggetti di architettura funzionalista, portando ad una catalogazione sistematica delle loro innumerevoli varianti (<https://www.flickr.com/photos/rocor/30565441004>).

costruzioni afferenti a determinati tipi architettonici che si caratterizzano per qualità costruttive e intenzioni progettuali nelle quali è possibile riconoscere una standardizzazione del processo costruttivo, esaltandone le logiche architettoniche proto-parametriche.

La tipizzazione dei template

La riconoscibilità di un tipo architettonico è strettamente funzionale all'organizzazione del processo HBIM. Etimologicamente parlando, il tipo è un'impronta, un'impostazione mentale tradotta in un approccio progettuale. Svincolandosi da un atteggiamento deduttivo, che accomuna, organizza e classifica il patrimonio costruito, e richiamando invece il concetto di processo generativo della forma, il tipo rifiuta la definizione di una forma prestabilita per descrivere un cluster di forme che siano tutte in grado di soddisfare i requisiti imposti dal progetto. «Il progetto [...] riguarda la virtualità, non l'attualità.

Nella sua concezione si tratta di qualcosa di vago, indefinito e incerto, non necessariamente l'improvvisa apparizione di una forma (perché ciò sarebbe certo) ma piuttosto una combinazione di pensieri che portano alla nascita di una forma»²³. Il termine "virtualità" si focalizza sull'aspetto mentale del progetto e sulla prefigurazione di una forma che possa, in un futuro, soddisfare determinati requisiti. Un progetto di architettura nasce a fronte di una necessità di miglioramento di determinate condizioni e, prefigurando la concretizzazione dell'opera, realizza gli obiettivi preposti nel rispetto di vincoli imposti dal contesto e dalle caratteristiche del progetto stesso. Progettare è dialogare costantemente tra la situazione attuale e quella attesa: la definizione dei limiti, dei vincoli e delle condizioni a monte dell'opera da realizzare – o quelle desunte dal processo di lettura, analisi e scomposizione dell'architettura esistente – all'interno di un ambiente digitale di modellazione si esplicita attraverso la costruzione dei template. Analogamente al tipo, template significa letteralmente "sagoma", "calco". Un template è quindi un "proto-modello", uno schema precostituito contenente le indicazioni per strutturare il modello vero e proprio, in cui si inseriscono le informazioni in modo guidato.

Nell'ambito specifico del BIM, il template è un ambiente digitale che contiene tutti gli standard di progettazione, offre all'utente la possibilità di utilizzare alcuni tools e di definire il livello di approfondimento, può essere personalizzato ed implementato in funzione della specifica tipologia edilizia. In funzione del ruolo non solo gestionale ma anche culturale rivestito dall'HBIM, questo approccio consente di interpretare il processo progettuale alla base della realizzazione di un edificio, partendo dalla matrice compositiva e strutturale e ripercorrendo tutte le fasi costruttive che lo hanno portato al suo stato

²³ Terzidis K. 2006.

attuale. L'HBIM interpreta l'essenza formale, costruttiva e materica di un edificio e, contemporaneamente, della tipologia architettonica di appartenenza. Il riconoscimento delle qualità legate alla standardizzazione del processo progettuale detta le regole per la personalizzazione del template. Fatte salve le premesse legate alla difficoltà di gestione di forme architettoniche, particolarmente complesse a causa delle trasformazioni subite nel corso del tempo, gli strumenti parametrici sembrano quelli più adatti per esaltare le caratteristiche di determinate tipologie edilizie. In particolare, si fa riferimento a strutture in cui sia presente un forte rigore geometrico e proporzionale, una modularità compositiva, l'utilizzo di elementi ripetuti e seriali. Queste considerazioni possono essere trasposte all'interno di uno "spazio digitale culturale" che prende avvio dall'impostazione di un unico set di regole, dedotte dalla fase preliminare conoscitiva del manufatto, che precede la fase vera e propria di elaborazione del modello. Prima del modello dell'edificio, quindi, il template rappresenta il modello dell'ambito culturale-architettonico in cui l'edificio si inserisce, un proto-modello in cui si riversano considerazioni ed elementi tipologico-costruttivi di carattere generale, non ancora definiti nei loro parametri dai valori alfanumerici che successivamente dovranno essere dedotti dal rilievo.

La questione dell'affidabilità dell'HBIM

Nei processi BIM e HBIM la costruzione del modello viene sviluppata con la necessità di governare la complessità di una realtà immanente, progettata o esistente, implicando notevoli differenze rispetto ai tradizionali processi di modellazione 3D. La modellazione e la composizione degli oggetti digitali devono rispondere a determinati requisiti connessi sia alla definizione parametrica delle variabili

dimensionali dal punto di vista geometrico, sia alla definizione ontologica degli stessi dal punto di vista semantico. Gli elementi che concorrono a definire la composizione dell'architettura, siano essi già presenti nelle librerie dei software o generati appositamente, hanno delle caratteristiche dimensionali e prestazionali legati al mondo reale e sono inseriti in un sistema di corrispondenze ben più rigido rispetto alle convenzionali rappresentazioni simboliche. Essi possono essere utilizzati in un modello solo se legati ad altri da relazioni logiche che determinano la possibilità di proporre le modifiche, rendendo tale attività piuttosto complessa²⁴. Sebbene l'ambito cui si fa riferimento sia circoscritto all'HBIM, nel campo della visualizzazione *computer based* per i Beni Culturali, già la *Carta di Londra*²⁵ rifletteva sul confronto tra i dati oggettivi e le inevitabili scelte interpretative che influenzano la costruzione di modelli digitali. Nonostante le differenze tra i generici processi di ricostruzione virtuale e quelli specifici di modellazione parametrica e informativa, determinati principi della *Carta di Londra* possono essere estesi all'HBIM. La costruzione del modello, che avviene tramite la composizione ordinata e gerarchica di elementi architettonici, considera sia i rapporti di dipendenza tra le parti, sia la configurazione reale dell'oggetto esistente. L'analisi del problema si formalizza quindi all'interno di due tematiche: garantire la qualità geometrica del modello senza perdere la precisione e l'accuratezza del rilievo, e rispettare le peculiarità precipue dell'architettura favorendone una corretta lettura ed interpretazione. La relazione tra il modello e il dato di rilievo si analizza secondo due aspetti fondamentali: quello del rilievo inteso come inverso del progetto²⁶ e quello del rapporto tra la neutralità scientifica e oggettiva del rilievo e la componente soggettiva della sua interpretazione.

Il rilievo come ricostruzione filologica a posteriori

²⁴ Si fa riferimento ai meccanismi automatici di associazione ontologica degli oggetti digitali: se durante la costruzione del modello essi vengono associati in modo insensato rispetto ai processi reali di costruzione, le piattaforme BIM authoring bloccano l'operazione, riscontrando un errore procedurale. Esso può essere causato da un'errata sequenza delle operazioni di modellazione, da interferenze geometriche, o da intersezioni non compatibili con la struttura semantica del modello.

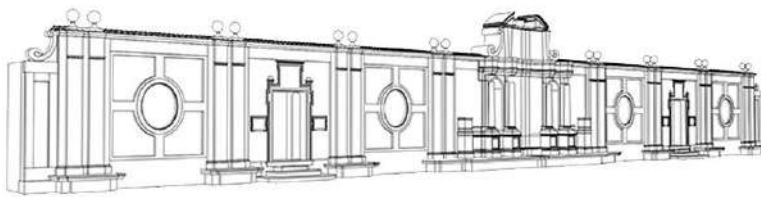
²⁵ Denard H. 2016, p.67.

²⁶ Migliari R. 1999.

del progetto originario di un'opera non restituisce né l'intera compagine informativa riguardante l'opera stessa, né la sua autenticità. Esclude infatti le significative discrepanze che possono sussistere tra le intenzioni del progettista e le comuni infedeltà legate alla realizzazione. Inoltre, a meno di non condurre indagini distruttive o saggi, o che un edificio non sia in stato di rudere o di forte danneggiamento ed esponga le stratigrafie interne, il rilievo fornisce informazioni relative alle superfici, ma non la possibilità di visualizzare l'interno delle strutture. Tali informazioni sono reperibili tramite indagini distruttive ma, nell'ambito dei beni culturali di valore storico, la possibilità di condurre operazioni di questo tipo non è sempre semplice e immediata. Tuttavia, tali informazioni possono essere dedotte da ricerche storiche, dallo studio di fonti d'archivio e da analisi comparative con altri edifici appartenenti alla stessa categoria architettonica, allo stesso periodo storico, o realizzati dallo stesso progettista. Questo, da un lato, rende il modello finale caratterizzato da un livello di approfondimento non omogeneo rispetto a tutti gli elementi; dall'altro, necessità di esplicitare la presenza di elementi modellati sulla base di deduzioni²⁷.

²⁷ A tal proposito, una proposta significativa è relativa alla codifica di un nuovo parametro in grado di colmare l'insufficienza dei parametri standard che nei processi BIM misurano l'affidabilità delle informazioni di tipo tecnico. Ai LOD e al LOI, definiti dalla norma 11337:2017, nell'ambito della ricerca universitaria, Saverio Nicastro aggiunge il LOR (Level Of Reliability), che misura l'affidabilità in termini di coerenza globale del processo che definisce qualsiasi oggetto digitale utilizzato. Il parametro mette in relazione l'affidabilità geometrica degli oggetti digitali con la loro corrispondenza ontologica e con la forma reale che intendono descrivere (Bianchini C., Nicastro S. 2018).

Il problema dell'interpretazione, invece, riguarda principalmente l'approssimazione della geometria e della semplificazione della forma, spesso evidenziate da un rilievo che documenta l'irregolarità delle superfici e il loro stato di conservazione. All'approssimazione e alla semplificazione (fig.5) si fa spesso ricorso per due ragioni. In primo luogo, perché per favorire l'ottimizzazione del processo e sfruttare le potenzialità di un approccio parametrico non si considerano le variazioni a livello locale che ricadono in un intervallo coerente con gli obiettivi per cui il modello viene realizzato. In secondo luogo, perché il processo BIM consente di demandare ai parametri



informativi la comunicazione della complessità degli elementi modellati, giustificando così la semplificazione della forma. Questi due livelli di semplificazione introducono un importante fattore da considerare nella valutazione dell'affidabilità di un modello: lo scarto metrico che intercorre tra il modello numerico e quello parametrico (fig.6). Al fine di definire scientifico il processo di modellazione, esso dovrebbe fornire informazioni relative alla deviazione tra il dato di rilievo – il modello numerico – e il modello parametrico costruito a partire dall'analisi delle sue

Fig. 5/ Approssimazione della geometria e discretizzazione della forma nei processi di modellazione 3D della facciata del Teatro di Villa Borghese a Roma.

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico



Fig. 6/ Valutazione della distanza metrica tra modello numerico e HBIM del Tempio del divo Claudio a Roma.

caratteristiche. Ciò consente di dichiarare l'accuratezza del modello costruito e la coerenza con l'incertezza che caratterizza ogni rilievo. I risultati ottenuti da questo tipo di verifiche potrebbero essere letti come una misura del livello di semplificazione adottato nel processo di elaborazione dati dal punto di vista della rispondenza geometrica tra le superfici rilevate e il modello costituito da BIM-object, a cui la misura della suddetta deviazione potrebbe essere assegnata come attributo.

Superato il problema dell'interpretazione del dato di rilievo, un ultimo aspetto riguarda l'attendibilità di un modello: la valutazione delle interferenze, sia tra gli oggetti dello stesso modello, sia tra modelli appartenenti a diverse discipline (architettonico, strutturale, impiantistico), comparabili per mezzo del formato di interscambio IFC²⁸. Alcune applicazioni riconoscono gli oggetti digitali e i loro attributi principali, sui quali possono eseguire dei controlli allo scopo di identificare eventuali incongruenze, errori nella modellazione, o collisioni tra gli elementi²⁹. Tuttavia, essi non esauriscono il controllo sul processo di modellazione informativa, escludendo controlli sia di natura semantica, sia delle relazioni che intercorrono tra la costruzione del modello e la lettura

28 L'IFC (Industry Foundation Classes) costituisce lo standard globale per lo scambio dei dati nel settore dell'edilizia. IFC è sia un modello di dati, sia un formato di file aperto, che consente agli operatori di condividere i loro prodotti indipendentemente dal software utilizzato. Cfr. Parte prima, par. *Le tecnologie informatiche per la gestione del lavoro nel BIM.*

29 Cfr. Parte seconda, par. *L'impostazione del processo: controllo, principio di tolleranza e approccio centrale.*

critica e l'elaborazione dei dati che provengono da ricerche storiche e d'archivio. Questo rende necessaria, di volta in volta, la definizione di criteri e linee guida che garantiscano la scientificità e la trasparenza dei processi di conoscenza applicati al patrimonio architettonico esistente.

Parte seconda

1 Metodologia

L'estensione dei processi BIM al patrimonio costruito offre grandi benefici legati all'utilizzo di modelli informati complessi, che legano la simulazione dell'architettura alla lettura della matrice concettuale sottesa alla sua costruzione e ai suoi elementi costitutivi. Nel caso dell'HBIM la conoscenza di questi aspetti, di natura prettamente teorica, per quanto legati alla realizzazione pratica dell'architettura, potrebbero sembrare non indispensabili alla costruzione di un modello di un edificio esistente, proprio perché è già stato realizzato. In primo luogo perché non sempre si riescono a conoscere le informazioni relative a ciò che non è direttamente visibile o rilevabile di un manufatto già costruito; si pensi ad esempio ai nodi costruttivi che caratterizzano costruzioni che oggi ci appaiono in un determinato modo, ma che in realtà sono il frutto di stratificazioni secolari, o alla disposizione degli componenti strutturali che sostengono gli edifici e che spesso sono nascosti

all'interno di particolari soluzioni architettoniche. In secondo luogo perché, generalmente, un modello ideale¹ è un oggetto digitale puramente teorico, che non riporta né le variazioni locali di elementi ripetuti, né le deformazioni o lo stato di usura dei materiali che invece caratterizzano qualsiasi edificio costruito. Tuttavia, proprio perché l'HBIM aspira ad essere la sintesi tra l'idealità del progetto e la sua concreta realizzazione, è necessario garantire una corrispondenza tra gli oggetti digitali modellati e i rispettivi elementi sull'oggetto reale. Ciò avviene attraverso la definizione di "cosa" modellare e di "come" modellarlo, aspetti tutt'altro che univoci ma riferiti agli obiettivi del modello e alla sua valenza teorica e tecnica. In relazione al "cosa" modellare, al concetto di modello ideale e alla riflessione sul tipo architettonico si affianca la scelta del criterio di scomposizione dell'oggetto esistente, che trova corrispondenza nella ricostruzione del suo surrogato digitale. La possibilità di individuare un principio che descriva contemporaneamente l'essenza dell'oggetto e le sue regole compositive è strettamente legata alla sua identità storica e costruttiva. La lettura di un edificio sulla base della sua scomposizione non è solo una prerogativa dell'HBIM ma riguarda, più in generale, l'analisi dell'architettura. I criteri per scomporre un edificio sono molteplici: ci si può basare sul riconoscimento delle fasi di costruzione, sull'impostazione geometrica, sulla maglia strutturale, sulla semantica degli elementi. Tuttavia, la relazione tra questi e la costruzione di un modello digitale non è chiaramente identificata e talvolta è sottovalutata. La conoscenza dei caratteri di un edificio tramite la sua scomposizione consente di riproporne l'identità all'interno di un ambiente virtuale, entrando nel dettaglio di "come" modellare. In questo quadro, in cui apparentemente la rappresentazione dell'idea contrasta con la rappresentazione della realtà, sem-

¹ Cfr. Parte prima, par. *Il modello ideale*.

bra venir fuori la necessità di definire un modello che, allo stesso tempo, manifesti e risolva questa dicotomia. Risulta fondamentale, quindi, intervenire fin dall'impostazione del modello tramite un "approccio centrale", definendo *template* appositamente predisposti in base alla categoria edilizia in cui l'architettura da modellare trova corrispondenza, strutturando un sistema di conoscenza basato su dati multidimensionali² che consentono di definire le variabili parametriche di ciascun oggetto e il LOD³. La costruzione del modello viene affrontata cercando di rispondere alla necessità di interazione tra il modello rappresentativo della realtà esistente e quello rappresentativo delle intenzioni progettuali, rispettando le premesse su cui si basa il BIM: un'impostazione del modello chiara e coerente con l'edificio che rappresenta, la simulazione dei processi di costruzione – dall'idea, alla realizzazione, alla manutenzione, alla dismissione – l'interoperabilità, l'integrazione di dati, la misura dell'attendibilità del modello digitale secondo un approccio scientifico.

L'impostazione del processo: controllo, principio di tolleranza e approccio centrale

Uno tra i principali aspetti di innovazione introdotti dal BIM al settore dell'edilizia risiede nella condivisione dei processi di lavoro volti all'interoperabilità. L'aspetto tecnologico è certamente fondamentale poiché consente di disporre di piattaforme informatiche e librerie di oggetti parametrici che incentivano e semplificano l'archiviazione e lo scambio delle informazioni, supportando una nuova modalità di lavoro collaborativo. A tal proposito, molti enti normativi, Pubbliche Amministrazioni e strutture di ricerca rivolgono la loro attenzione allo sviluppo di progetti che possano suggerire delle prassi operative che garantiscano un ambiente di condivisione dei dati sicuro e trasparente. Il CDE, *Common Data*

² La modellazione solida parametrica consente di costruire oggetti tridimensionali con delle specifiche proprietà espresse tramite parametri a partire da dati 1D, 2D e 3D. Proprio questa caratteristica rende la parametrizzazione predisposta a raccontare l'oggetto a prescindere dalle dimensioni del dato che, collegato all'elemento modellato, ne costituisce la sorgente informativa.

³ L'inevitabile non omogeneità della conoscenza di diversi aspetti di un edificio influenza notevolmente il livello di approfondimento con cui ciascun oggetto viene modellato.

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

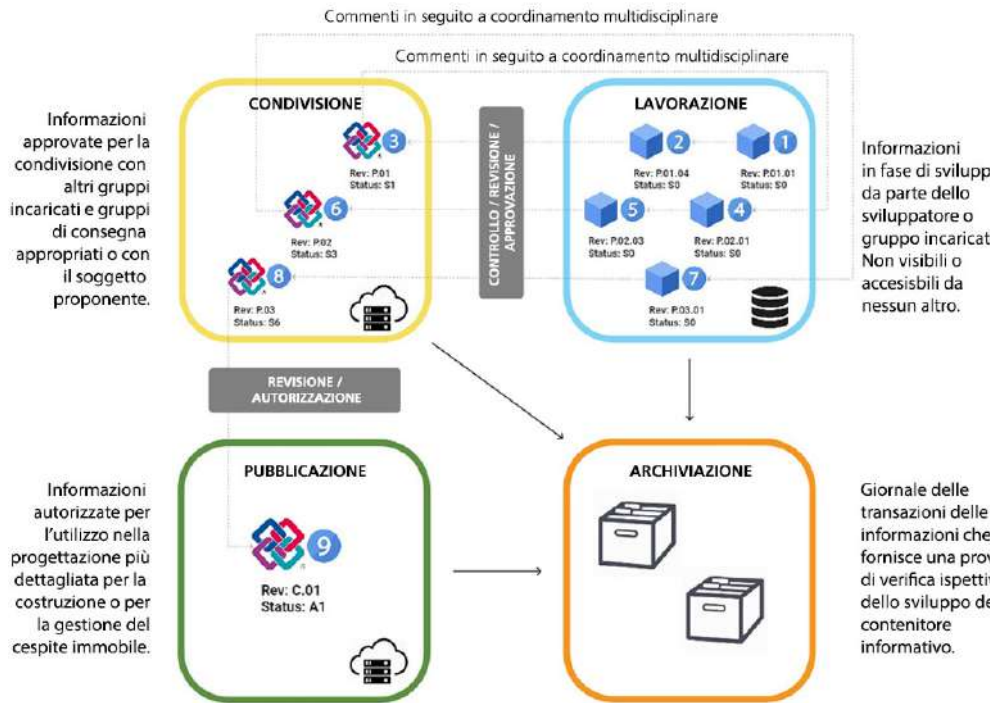


Fig. 1/ La strutturazione essenziale del CDE - *Common Data Environment* (BS 1192-1:2007; PAS 1192-2:2013) o ACDat - *Ambiente di Condivisione dei Dati* (UNI 11337-1-5:2017) (<https://bimcorner.com/cde-within-iso-19650-a-process-or-a-solution/>).

Environment, è organizzato in quattro fasi consequenziali, a cui corrispondono quattro aree operative di elaborazione dei dati che consentono il flusso delle informazioni in funzione delle autorizzazioni necessarie (fig.1). Nella prima area del CDE, lavorazione, il team di lavoro utilizza i software della propria organizzazione e i dati di progettazione non sono verificati. Nella seconda area, il CDE è “condiviso”: i dati di progettazione sono condivisi e verificati con altri membri del team di progetto. Nella terza, il CDE è “pubblicato”: è l’area per il coordinamento e l’output di progettazione è convalidato. L’ultima area, archiviazione, è necessaria per tenere traccia della storia del progetto con fini normativi e legali. Gli step di approvazione vengono definiti *gate*⁴, sono infatti dei veri e propri “varchi” che possono essere oltrepassati, in termini sia di flusso informativo che di fasi progettuali, solo al termine

⁴ *Publicly Available Specifications* (PAS) sono linee guida sviluppate dalla *British Standards Institution* per la gestione delle informazioni per la fase di consegna di progetti basati su processi BIM. In questo caso si fa riferimento alle PAS 1192-2:2013.

di un controllo con esito positivo. Tali attività di revisione e validazione non riguardano esclusivamente la fase conclusiva ma sono parte integrante del processo stesso e affiancano le diverse fasi di sviluppo del modello. L'implementazione delle piattaforme digitali e l'evolversi di formati non proprietari, particolarmente l'IFC, hanno favorito il controllo costante delle procedure definendo un ambito molto preciso del BIM che prende il nome di *Model Checking*, espressione spesso utilizzata erroneamente per indicare banalmente la verifica delle interferenze geometriche del modello 3D e che invece ne rappresenta solo uno dei molteplici aspetti. L'approvazione di un modello può avvenire attraverso il superamento della verifica di requisiti e funzionalità in relazione a specifiche richieste. Questo "controllo qualità" si articola secondo tre fasi tra di loro complementari: due di queste, definite come *BIM validation* e *clash detection*, sono volte a valutare la coerenza delle geometrie e delle informazioni inserite; la terza è quella del *code checking*, che ha invece lo scopo di valutare l'aderenza dei contenuti del modello BIM ai requisiti progettuali e agli standard definiti dalla normativa vigente. In particolare, la *BIM validation* è una verifica che controlla il LOD degli oggetti modellati⁵ e rileva errori di modellazione o incongruenze nell'inserimento di dati. Ad esempio, un solaio la cui stratigrafia non è correttamente gestita nei nodi di congiunzione con gli elementi di tamponatura potrebbe rappresentare un errore nella progettazione esecutiva e generare un'errata stima di materiali e costi. Con la *clash detection* invece è possibile eseguire il controllo delle interferenze geometriche all'interno del modello, tra le porzioni del modello di uno stesso edificio o tra i modelli relativi ad ambiti specifici, detti "discipline". Porzioni di modello e discipline vengono "federati" insieme per costituire un modello complessivo finale, il *merged model*, che

⁵ Nel caso di appalti che prevedano la struttura di un processo HBIM, il LOD è definito in sede di contratto sulla base delle esigenze della committenza.



Fig. 2/ La ricerca ossessiva dell'aderenza tra rilievo e HBIM.

racchiude tutti gli aspetti della costruzione. La procedura di *clash detection* prevede l'intersezione dei diversi modelli al fine di evidenziare sovrapposizioni ed interferenze classificate secondo diversi gradi di severità. Ad esempio, con riferimento al principio di tolleranza, l'interferenza riconosciuta tra due tamponature geometricamente autointersecanti è considerata meno grave del conflitto che potrebbe generare una canalizzazione con un elemento del telaio strutturale. Il principio di tolleranza influisce nettamente sull'approccio alla modellazione. In primo luogo perché tollerare contatti o distacchi superficiali riducendo al minimo le istanze segnalate consente di ottimizzare il lavoro, rivolgendo l'attenzione a quelle maggiormente significative. Inoltre, se si pensa ad una realtà di cantiere, la presenza di un "franco" tra elementi – come possono essere ad esempio un infisso in aderenza ad un pilastro – è a volte addirittura auspicabile per garantire una corretta posa in opera degli elementi stessi. In ultimo, occorre tener presente che la maggior parte dei contratti d'appalto che richiede l'HBIM, prevede che il modello digitale di riferimento sia quello derivante dalle elaborazioni dei dati di rilievo. Anch'esso subisce un controllo volto a confermarne i requisiti di chiarezza, completezza e precisione, dovendo costituire sia la guida per instradare i processi di costruzione del modello, sia l'elemento con cui confrontare il modello finale. È qui che la possibilità di avere modelli parametrici, associativi, dinamici, si trasforma nell'oneroso processo di gestione di più modelli frammentati, discontinui e non parametrici – con un innalzamento esponenziale del numero di interferenze geometriche – per la ricerca ossessiva dell'aderenza al modello di rilievo (fig. 2). Il dibattito su questa tematica non è di poco conto e neanche di facile risoluzione se si pensa che, effettivamente, in termini professionali, l'unico fattore che certifica

e quantifica l'affidabilità dell'HBIM è la misura dello scarto tra il modello e la nuvola di punti: minore è la deviazione, più il modello continuo tende a rappresentare la realtà, spesso, però, a discapito di quelle logiche di ottimizzazione proprie del processo BIM. Nel campo del patrimonio esistente, soprattutto se molto stratificato, le irregolarità e gli sviluppi fuori dal piano sono praticamente la regola, dovute sia all'artigianalità dei processi di costruzione, sia all'attivazione di eventuali cinematismi strutturali, sia semplicemente al danneggiamento e al degrado dei componenti dovuti allo scorrere del tempo. Di conseguenza, è logico pensare che il processo HBIM sia più laborioso e meno fluido del BIM e con un diverso risultato in termini di BIM *validation* e *clash detection*. Tuttavia, la costruzione di un modello ideale, che esalti le caratteristiche di appartenenza ad una determinata tipologia edilizia⁶, concretizza il principio della tolleranza, discretizzando le geometrie e tralasciando variazioni attribuite a processi artigianali di posa in opera. Ciò consente di valutare l'effettiva efficacia degli strumenti e dei processi BIM nel campo del patrimonio costruito, esplicitando l'affidabilità del modello attraverso la misura della deviazione rispetto al rilievo.

Questi motivi rendono la gestione delle verifiche alquanto complessa nell'approccio federato, in cui la modellazione, tutt'altro che simultanea, prende avvio dalla disciplina architettonica e sulla base di questa vengono sviluppate le altre (strutturale, impiantistica). Questo atteggiamento, abbastanza tradizionale e isolazionistico, demanda la verifica delle incongruenze al completamento del processo di modellazione. Ciò consente di prevedere un numero altissimo di interferenze, proprio perché l'intersezione interdisciplinare avviene quando tutte le componenti sono complete. Nel caso in cui i processi di *BIM validation* e *clash detection* non producano

⁶ Cfr. Parte prima, cap.3 *BIM/ HBIM: il tipo*.

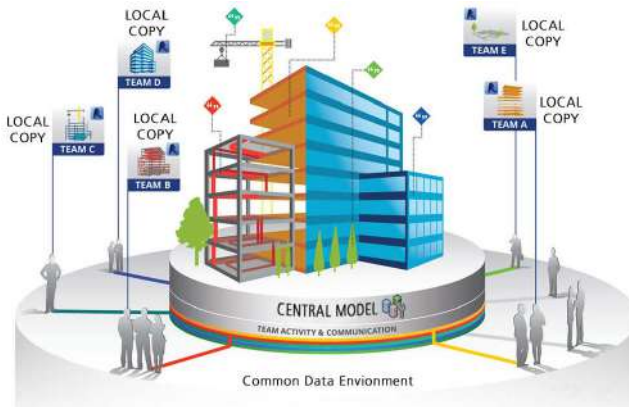
un esito favorevole, i diversi modelli (architettonico, strutturale, impiantistico) dovranno essere modificati e la verifica dovrà essere ripetuta, contrastando fortemente con i concetti di condivisione simultanea, dinamicità e ottimizzazione del processo promossi dal BIM. Inoltre, l'approccio federato mostra come nonostante una delle principali caratteristiche del processo BIM sia l'interoperabilità, nella pratica, spesso, gli ambiti disciplinari che riguardano una costruzione si tengono ancora separati. Per un solo edificio si hanno quattro modelli: architettonico, strutturale, impiantistico, e il *merged model* che li riunisce⁷. Tale modello, per poter essere navigabile, ha bisogno dei file nativi presenti all'interno della medesima directory (i file di progetto e i file *template* di ogni disciplina); i componenti dei singoli link sono interrogabili ma non direttamente modificabili, e le istanze appartenenti a discipline diverse che si trovino tra loro in aderenza geometrica non hanno un comportamento dinamico poiché la loro relazione semantica a livello costruttivo non è tradotta in termini di vincolo associativo.

In termini pratici, la federazione si rivela piuttosto inefficace, portando a considerare un diverso approccio alla modellazione: anziché procedere su binari disciplinari paralleli, in cui il modello finale è costituito da componenti tra loro collegate ma distinte, è possibile adottare un atteggiamento simultaneo e inclusivo di tutte le caratteristiche dell'edificio secondo una modalità "centrale".

La modellazione centrale prevede la condivisione di un unico modello sviluppato grazie alla sincronizzazione di singoli modelli costruiti in locale (fig.3). In questo modo è possibile avere un costante confronto con le eventuali partizioni e con le altre discipline, implicando sin da subito un processo di controllo, di verifica e di risoluzione delle segnalazioni di interferenze. Ciò non significa evitare il processo di *clash*

⁷ Questo è vero se si esclude una partizione dell'edificio per blocchi costruttivi, a cui spesso si ricorre in caso di configurazioni particolarmente articolate. In questo caso, però, la verifica coinvolgerebbe molti più modelli, che sarebbero quattro soltanto per ogni partizione.

Fig. 3/ Modalità centrale.



detection finale ma snellirlo, poiché la stragrande maggioranza dei conflitti vengono risolti in itinere. Inoltre, nel modello sottoposto a verifica, le componenti non sono solo collegate ma coesistono in una relazione semantica e dinamica, pertanto eventuali modifiche aggiorneranno contemporaneamente anche le componenti di discipline diverse secondo la logica BIM di propagazione a cascata delle modifiche.

Chiaramente, la scelta di preferire un approccio centrale rispetto alla federazione tra modelli non è logica, facile o scontata come potrebbe sembrare. La costruzione di un processo di lavoro collaborativo richiede un ausilio informatico ben preciso: una piattaforma organizzata come un CDE in termini di sezioni ed accessi, che in più offra la possibilità di creare e lavorare i modelli in essa residenti in tempo reale ed in condivisione, direttamente accessibile da parte del software di *BIM authoring* e anche da parte di altri software in grado di condividere i processi per effettuare elaborazioni come simulazioni 4D, *model checking*, QTO (*Quantity Take Off*) e MTO (*Material Take Off*)⁸. Potrebbe trattarsi di un server condiviso dalle postazioni locali o di un *cloud* che, qualora non fossero disponibili, annullerebbero ogni possibilità di collaborazione estemporanea,

⁸ L'ACDAT e le piattaforme collaborative nella metodologia bim (descor.com)

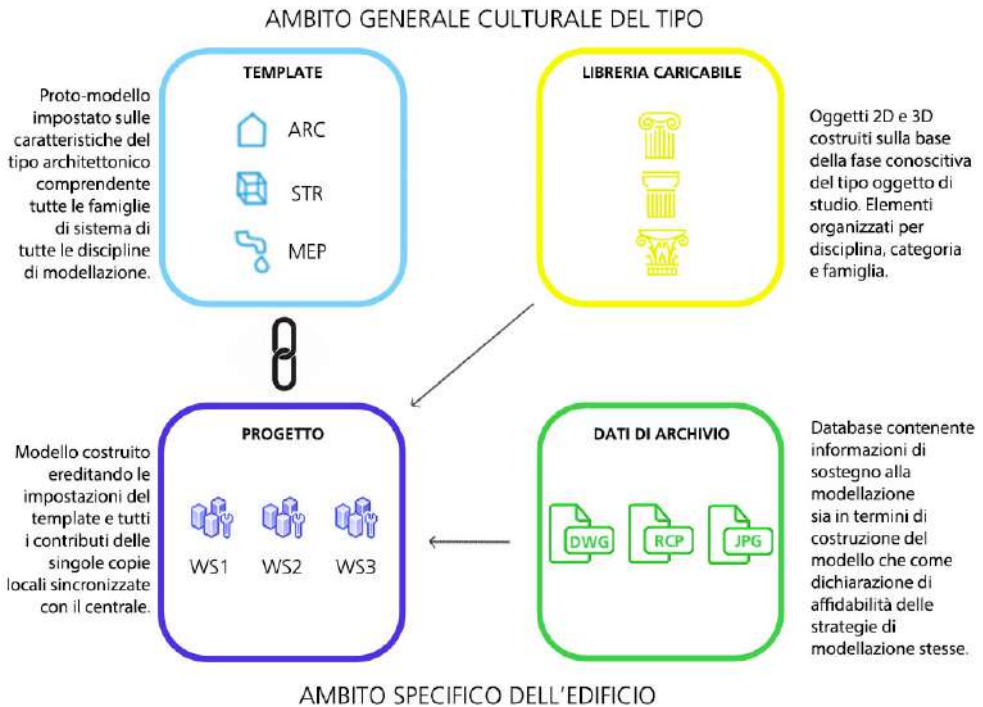
rendendo obbligatorio lavorare tramite sommatoria di link. Inoltre, la costruzione di un unico modello prevede l'utilizzo di un unico *template* all'interno del quale dovranno essere presenti tutti gli strumenti di modellazione per tutte le discipline coinvolte, rendendo di fatto il proto-modello⁹ e l'organizzazione di regole e parametri estremamente complesse e articolate nonostante la settorializzazione per tipologia edilizia.

Gli aspetti preliminari della modellazione

L'approccio centrale alla modellazione BIM di uno o più edifici appartenenti ad una tipologia edilizia prevede l'analisi di due ambiti paralleli e complementari: uno riguarda l'aspetto culturale legato allo studio della tipologia architettonica, l'altro si concentra sull'organizzazione pratica del lavoro condiviso. Teoria e pratica si muovono insieme ma su livelli diversi: la tipologia architettonica comprende diversi casi di studio ad essa ascritti, mentre l'organizzazione del lavoro condiviso avviene sulla base dei requisiti specifici di ogni singolo edificio. Tuttavia, il rapporto tra la tipologia architettonica e la struttura del lavoro condiviso è un rapporto di dipendenza, esattamente come il file di progetto – quello in cui si costruisce il modello vero e proprio – dipende dalla scelta di un *template* – il proto-modello (fig.4). Le operazioni di modellazione vengono svolte all'interno di un *template*, un ambiente di lavoro non solo digitale, ma anche culturale. All'interno di esso si colloca ciò che facilita la costruzione del modello fin dall'apertura del progetto: le famiglie di sistema¹⁰ e la definizione di pacchetti stratigrafici, desunti dall'analisi delle tecniche costruttive degli edifici presi in esame. Occorre ricordare, ancora una volta, che le stratigrafie sono un dato non deducibile dal modello di rilievo, il quale è testimonianza solo dello stato superficiale del manufatto architettonico e in nessun modo può

⁹ Cfr. Parte prima, par. *La tipizzazione dei template*.

¹⁰ Cfr. Parte prima, par. *La tipizzazione dei template*.



fornire informazioni relative ai nuclei strutturali degli elementi: la possibilità di avere tali informazioni deriva da eventuali indagini diagnostiche invasive, oppure dallo studio di elaborati esecutivi di progetto¹¹. Non sempre poi questo genere di informazioni è in possesso di chi si occupa di impostare il *template* e molte possono sopraggiungere a modellazione avviata¹². Contestualmente alla costruzione del template si organizzano per ambiti disciplinari – STR, ARC, MEP – e con struttura gerarchica ad albero – disciplina, sottodisciplina, partizione, operatore, scala, famiglia, tipo – le viste del modello – piante, prospetti, sezioni, viste 3D (fig.5).

Inoltre, per una gestione omogenea delle viste del modello assegnate ai diversi operatori, la fase di coordinamento pone particolare cura nella costruzione di modelli di vista, un set di impostazioni di visibilità degli oggetti, da applicare alle varie discipline affinché

Fig. 4/ Schematizzazione dell'approccio alla modellazione BIM del tipo architettonico: dall'ambito generale e culturale alla costruzione del modello dello specifico edificio.

¹¹ La diversa affidabilità dei due tipi di informazione, una diretta l'altra indiretta, deve essere dichiarata all'interno del modello.

¹² L'integrazione di un'informazione nel proto-modello da cui il progetto dipende non è automatica. In caso di aggiornamento, ogni informazione dovrà essere inserita due volte, nel progetto e nel *template* per tutte le discipline e sottodiscipline, affinché i successivi modelli ne possano beneficiare.

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

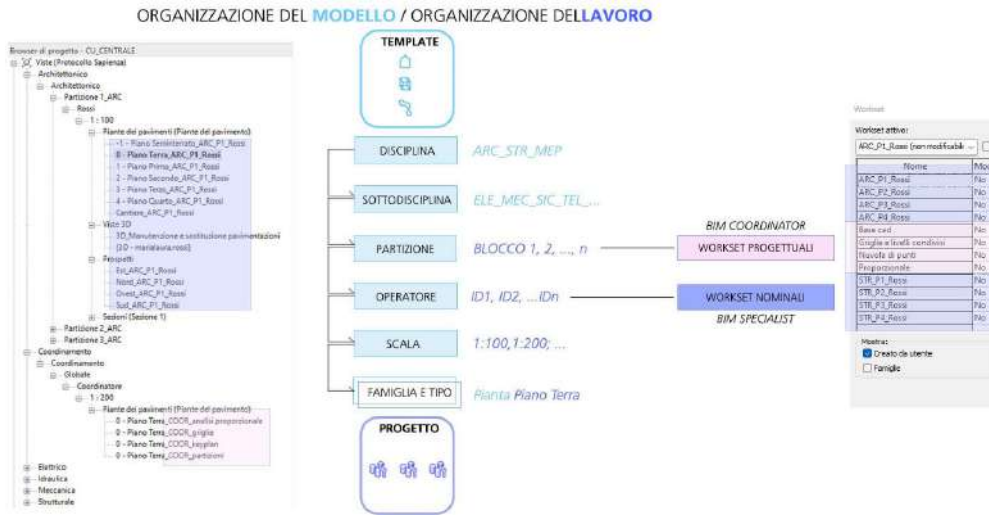


Fig. 5/ Organizzazione gerarchica piramidale del *template* del tipo architettonico contenente impostazioni coerenti con la struttura di suddivisione del lavoro.

il modello finale sia coerente e omogeneo anche dal punto di vista grafico.

Parallelamente alla costruzione del *template* e, successivamente, durante la costruzione del modello, si implementa la libreria di oggetti caricabili. Essa, essendo composta di oggetti generici (2D, 3D, materiali) che vivono al di fuori del *template* e del progetto, non risente in alcun modo della scelta della modellazione centrale o federata e può essere costruita sia a monte della modellazione, sia in itinere. Una volta definito l'ambito generale della modellazione, è possibile procedere con quello specifico e impostare la condivisione del lavoro. Il modello centrale recepisce automaticamente tutte le impostazioni del *template* ma non è ancora un ambiente digitale in cui inserire gli elementi costruttivi, dovendosi costruire sulla base della sincronizzazione delle copie locali del file. Le impostazioni del lavoro condiviso prevedono la traduzione in digitale delle caratteristiche principali del caso di studio e definiscono gli ambiti di lavoro specifici. È in questa fase quindi che vengono impostati tutti i riferimenti utili alla modellazione: la nomenclatura, tutto ciò che al

modello va associato e che completa il profilo conoscitivo dell'edificio in esame (dati di rilievo, file CAD, excel, documenti in formato pdf, ecc.), la posizione di griglie e livelli, l'indicazione di eventuali partizioni per blocchi costruttivi o per ambiti disciplinari, i *workset*, i parametri condivisi¹³.

L'impostazione della nomenclatura è relativa alla denominazione dei modelli e dei *template*, delle famiglie, dei materiali e delle componenti impiantistiche. Le convenzioni di denominazione dovrebbero rispettare alcuni principi utili a facilitare la semantizzazione degli oggetti e il loro utilizzo: la chiarezza (non dovrebbe esserci ambiguità nella definizione), la completezza (lo stesso criterio di denominazione dovrebbe poter essere applicato ogni volta che si dovrà nominare un nuovo elemento), la flessibilità (il criterio di denominazione deve poter essere usato, con poche modifiche ed eccezioni per gli elementi appartenenti a più discipline di un progetto) e, possibilmente, l'internazionalità (la denominazione, i codici e le abbreviazioni di cui si fa uso dovranno dovrebbero ricondursi alla lingua inglese).

La definizione dei parametri condivisi concerne, in primo luogo, la distinzione tra quelli geometrici e quelli informativi: i primi governano le dimensioni dell'oggetto e permettono di differenziare velocemente i tipi e le istanze all'interno del progetto, i secondi invece contengono gli attributi alfanumerici. Ai fini dell'ottimizzazione del lavoro da parte dei diversi operatori che agiscono sul modello, sarebbe opportuno associare ai parametri geometrici contenuti all'interno di ciascuna famiglia, gli attributi alfanumerici importati da un file di testo che li organizza in discipline, sottodiscipline e funzioni. L'utilizzo di un file di testo presente all'interno del *template* consente a diversi progetti di beneficiare automaticamente delle stesse impostazioni, senza dover inserire gli stessi parametri in ogni modello.

¹³ La definizione di questi aspetti è prevista anche in un'impostazione federata del modello.

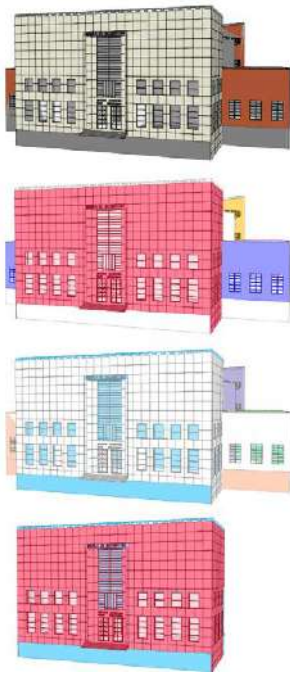


Fig. 6/ Different visualizzazione del modello BIM tramite sostituzione grafica di colore o parametri di visibilità on of. Viste del modello della Scuola di Matematica, rispettivamente dall'alto: vista in modalità classica; vista in modalità *workset* di disciplina architettonica; vista in modalità *workset* in disciplina strutturale; vista dei *workset* di una partizione dell'edificio in modalità architettura e struttura.

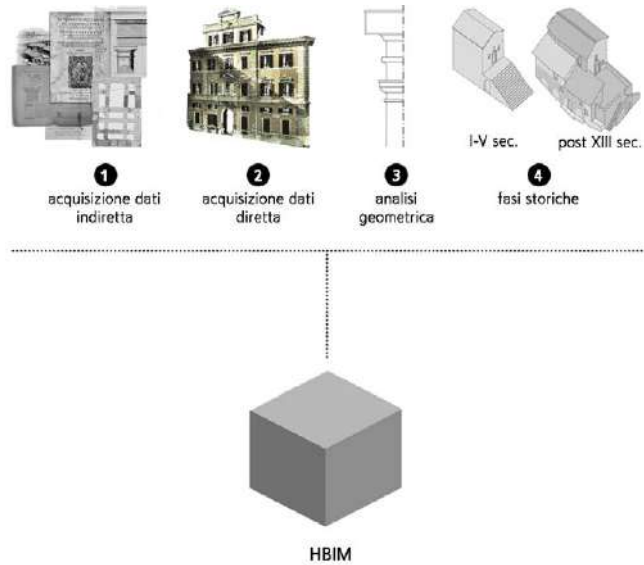
Durante la progettazione del modello centrale è possibile definire gli ambiti di lavoro, i *workset*. Essi vengono spesso, erroneamente, associati alla logica che i software vettoriali mettono in campo con i *layer*, che permettono di classificare i componenti del disegno in funzione di ciò che rappresentano secondo un'attribuzione di valore totalmente soggettiva. In un disegno, i *layer* possono essere distinti in base ai materiali, alle funzioni, o all'effetto grafico che si vuole ottenere in fase di stampa. Un *workset*, invece, è una collezione di oggetti, un raggruppamento di elementi correlati tra loro che mantengono il loro valore funzionale e grafico a prescindere dal *workset* di appartenenza. Al momento dell'attivazione della condivisione del lavoro, quindi della trasformazione del file in file di progetto centrale, è possibile utilizzarne diverse tipologie: i *workset* creati dall'utente; i *workset* della definizione dei tipi di famiglia caricati nel progetto; i *workset* delle viste; i *workset* degli standard di progetto. Nello specifico, i *workset* creati dall'utente vengono utilizzati quando, per renderne agevole la costruzione e il controllo, progetti molto vasti vengono suddivisi in porzioni ridotte, ognuna caratterizzata da una modellazione multidisciplinare (fig.6). La loro creazione non segue regole precise e varia in relazione ai casi di studio e hanno come unico obiettivo quello di rendere flessibile la condivisione del lavoro, motivo per cui non possono essere definiti all'interno del *template* generale. Un *workset* non comprende soltanto gli elementi costruttivi del modello, ma anche viste, abachi e tavole, concretizzando la condivisione di uno spazio digitale globale. L'utilizzo dei *workset* consente di operare modifiche durante la costruzione del modello e sincronizzare il file centrale, senza gestire tutte le interferenze al termine del processo come nel caso della federazione, ma rendendo le verifiche finali più snelle e veloci, spesso escludendo del tutto più cicli di controlli per arrivare alla convalida.

L'organizzazione della conoscenza

L'intera struttura del processo HBIM rinvia ad un percorso che, partendo dalla realtà fisica di un edificio esistente, giunge alla costruzione di un modello digitale sintesi di un processo che risulta essere contemporaneamente induttivo e deduttivo. Induttivo perché, a causa delle specifiche peculiarità del patrimonio architettonico, non è mai possibile a priori stabilire criteri universalmente validi per la costruzione di modelli. Deduttivo perché la costruzione del modello prende avvio dalla definizione di principi e regole generali per dare una risposta ai problemi legati a casi particolari, gli elementi di un oggetto reale devono essere compresi nelle loro caratteristiche, quindi semantizzati ex-post e composti nel modello digitale. In questo modo, la procedura rappresenta un percorso di conoscenza critica i cui temi essenziali sono la definizione di ciò che è realmente possibile conoscere direttamente; la validità delle fonti consultate per implementare la conoscenza dell'oggetto derivante da fonti indirette; la trasparenza delle informazioni; l'attendibilità del modello informato. Quest'ultima, nella modellazione 3D di tipo tradizionale, riguarda esclusivamente la valutazione a posteriori della deviazione tra il modello numerico derivante dall'elaborazione del dato di rilievo e la superficie del modello geometrico. Nel caso dell'HBIM, invece, la riflessione sull'attendibilità coinvolge il processo di modellazione fin dalla sua impostazione. Un esempio è costituito dalla dichiarazione dei livelli di sviluppo geometrico ed informativo delle singole componenti, per cui la norma UNI 11337-2017 ricerca massimo livello di definizione. Tuttavia, tale prescrizione può essere applicata al patrimonio costruito solo in linea teorica: nel caso di edifici storici, infatti, la conoscenza è un processo in continuo divenire, spesso eterogeneo e frammentato. Questo è il principale motivo dello scetticismo

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 7/ L'approccio alla conoscenza a monte della modellazione.



che talvolta si riscontra nell'estensione del BIM al patrimonio costruito, che può essere superato attraverso un approccio metodologico basato sull'organizzazione della conoscenza, intesa come tutto ciò che concorre a rendere l'HBIM un riferimento per la documentazione, la gestione e la conservazione dell'architettura esistente.

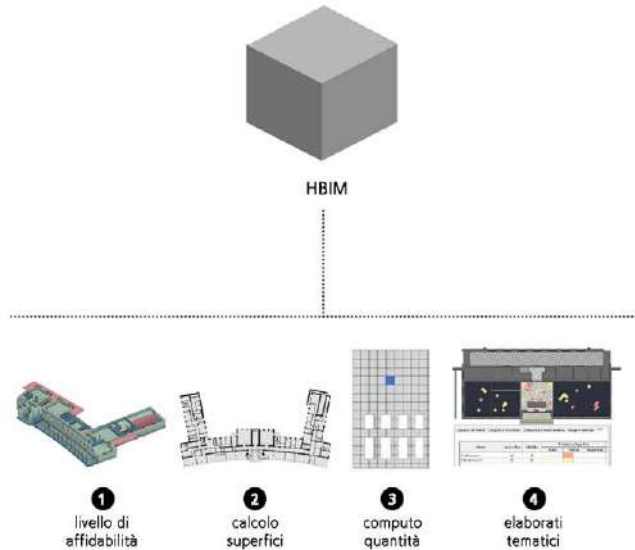
L'aspetto della conoscenza, che sembra riguardare soltanto le informazioni che di un manufatto è possibile sapere, in realtà concerne sia la sfera dell'impostazione del modello, sia quella della divulgazione delle informazioni. Entrambe hanno un ruolo fondamentale perché manifestazione di quella trasparenza tanto ricercata nell'ambito della digitalizzazione del patrimonio architettonico e che garantisce e certifica la validità del modello, integrando le informazioni sull'edificio in esame a quelle sulla struttura del processo. Esistono, quindi, delle valutazioni da fare sull'approccio alla conoscenza che è a monte della modellazione e quella che, invece, viene conseguita a valle.

Nel primo gruppo rientrano tutti gli aspetti legati

all'acquisizione diretta e indiretta dei dati, alle scelte legate alla costruzione degli oggetti digitali, alla corretta organizzazione degli elementi che consentono di gestire il modello con più facilità (fig.7). L'ossatura del modello, di fatto, è costituita dai dati di rilievo che definiscono la morfologia e la geometria dell'oggetto, l'articolazione degli spazi, i materiali e le tecnologie usate. Tali informazioni, comunque parziali rispetto alla conoscenza globale del manufatto, vengono implementate mediante l'osservazione diretta, per la valutazione dello stato conservativo e i fenomeni di degrado superficiale, e le ricerche d'archivio, per tutto ciò che riguarda sia la progettualità dell'opera, le diverse fasi storiche, i dettagli delle tecniche costruttive. Questa prima osservazione mette in luce la difficoltà di non poter dichiarare a priori il LOD del modello e quella di non poter garantire che esso rimanga omogeneo per tutti gli oggetti: così come la conoscenza di un edificio storico si sviluppa per elementi puntuali, anche il LOD sarà definito per le singole componenti del modello. A questo proposito, incrociando le informazioni derivanti dalle indagini dirette e da quelle indirette, può essere utile individuare elementi su cui si hanno dei dati completi o particolarmente importanti dal punto di vista del pregio architettonico e caratterizzarli con un LOD differente, in questo caso maggiore, rispetto alla media degli elementi del modello. Il discorso riguarda anche le componenti impiantistiche che, di fatto, sono parte integrante degli edifici, pertanto non possono essere escluse dal ragionamento sull'approfondimento grafico. La definizione dei LOD e la scelta di quali elementi rappresentare e di come rappresentarli sono aspetti fondamentali nella costruzione del modello perché mettono in relazione la conoscenza dell'oggetto, quindi la scelta del criterio con cui scomporlo nei suoi elementi costitutivi, con la sua ricostruzione digitale. Qui entrano in gioco

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 8/ L'approccio alla conoscenza a valle della modellazione.



l'impostazione di un modello basato su elementi che facilitano la propagazione delle modifiche (griglie, livelli e piani di riferimento), la discretizzazione delle geometrie e la rettifica delle irregolarità costruttive (si pensi alla modellazione di una muratura che presenta sezioni irregolari e fuori piombo in cui l'utilizzo di oggetti parametrici garantisce la piena capacità di adoperare parametri geometrici e alfanumerici per la gestione informativa). Infine, un approccio che preveda l'impostazione di determinati aspetti del modello prima ancora di procedere con le attività vere e proprie di costruzione della forma, esamina anche le fasi di realizzazione dell'edificio, dedotte dall'integrazione tra l'analisi dei documenti archivistici e l'osservazione diretta. Le PAS 1192¹⁴ prescrivono che i modelli abbiano una durata almeno pari a quella dell'edificio reale, rendendo le fasi di costruzione uno strumento fondamentale per la corretta rappresentazione di un edificio nel corso del tempo. Esse dovrebbero identificare chiaramente i cambiamenti subiti dall'oggetto, indicando la data di inizio. Nel caso di edifici esistenti, quindi, è auspicabile che

¹⁴ Cfr. nota 4.

un *template* contenga almeno due fasi temporali: lo stato di fatto¹⁵ e gli interventi futuri.

La conoscenza dell'oggetto che si consegue a valle della modellazione, quindi in seguito al processo di analisi dei dati e di costruzione della forma, riguarda invece tutte le informazioni che dal modello si possono trarre (fig. 8). In una posizione preminente si colloca la valutazione dell'affidabilità che si basa, in primo luogo, sulla consistenza dei dati di rilievo: qualora questi fossero parziali, inficerebbero la realizzazione del modello che, dovendo costituire la copia digitale di un edificio, non può presentarsi come incompleto. Tuttavia, gli elementi non direttamente rilevati possono comunque essere desunti dalla comparazione con elementi dello stesso tipo presenti all'interno dello stesso edificio, documenti storico-archivistici, rilievi precedenti, interpretazioni legate alla conoscenza delle tecniche costruttive impiegate. Per conseguire l'obiettivo della trasparenza nella comunicazione delle informazioni, tali elementi andrebbero individuati e caratterizzati sia tramite un apposito parametro per indicare ciò che non è stato rilevato, sia inserendo la documentazione che ha fornito il supporto alla modellazione necessario per la costruzione dell'oggetto digitale, indicando l'origine dell'informazione. La questione della completezza delle informazioni non influenza soltanto la modellazione di un oggetto dal punto di vista geometrico morfologico, ma anche dal punto di vista della gestione, al di là delle innumerevoli implicazioni che l'HBIM porta nel settore della rappresentazione e del rilievo. A tal proposito occorre definire i dati e la tipologia di elaborati che possono essere estratti dal modello necessari in fase di progettazione e/o esecuzione delle opere. Ai fini delle gare d'appalto, il modello dovrebbe fornire in maniera automatica dati sulle superfici degli ambienti (suddi-
visi piani, locali, destinazione d'uso e localizzazione

¹⁵ La modellazione dello stato di fatto potrebbe essere soggetta ad aggiornamenti legati all'accessibilità di determinati ambienti o a nuove indagini, di cui si dovrebbe dare informazioni anche all'interno di una stessa fase.

¹⁶ Tali informazioni e il livello di dettaglio vengono generalmente definite in fase di contratto e stabilite tra la stazione appaltante e l'aggiudicatario in relazione alla ragione per cui si sviluppa il processo BIM.

degli ambienti), tipologia dei materiali e calcolo delle superfici, dotazioni impiantistiche (posizionamento, numero di apparecchi e terminali)¹⁶. Ai fini della manutenzione, dovrebbe contenere le informazioni necessarie per consentire la programmazione di attività di manutenzione straordinaria, ordinaria e di pulizia, andrebbe aggiornato riportando gli interventi effettuati, (archiviando le schede tecniche di manutenzione, le certificazioni, le autorizzazioni, i documenti per la sicurezza), ed impostato in modo tale da poter estrarre delle tavole tematiche che mostrino gli oggetti sottoposti ad interventi di demolizione e costruzione.

La conoscenza del patrimonio esistente, dunque, si configura sia in tutti quegli aspetti che vanno analizzati precedentemente alla costruzione del modello digitale, perché ne influenzano l'impostazione, sia in tutte le informazioni che grazie al completo processo dell'HBIM è possibile leggere criticamente e archiviare. I due aspetti sottolineano la rilevanza di questo approccio nell'ambito della digitalizzazione del patrimonio architettonico che, affrontata legando la condivisione della conoscenza alla complessità dei modelli, offre molteplici significativi sviluppi.

2 Sperimentazione

Il processo HBIM viene di seguito sviluppato con particolare attenzione all'identità storico-costruttiva dei manufatti architettonici e delle loro componenti, analizzando gli eventi che hanno contribuito alla definizione di tale identità congiuntamente alle caratteristiche che è possibile riscontrare sul loro stato attuale. Entrambi gli aspetti diventano parte della logica del processo e vengono messi in connessione attraverso un opportuno sistema di proprietà e regole che governano la modellazione tridimensionale. Questo presupposto guida la definizione di alcune buone pratiche che riguardano la costruzione di modelli parametrici informati, sintesi degli aspetti ideali che governano la struttura (il tipo architettonico, il criterio di scomposizione dell'architettura) e di quelli maggiormente connessi con la documentazione di un edificio (l'integrazione dei dati derivanti da indagini dirette e indirette, la catalogazione delle informazioni).

A fronte delle riflessioni teoriche condotte sui temi del modello ideale, del tipo architettonico, della tipizzazione del *template*¹ e della valutazione dell'affidabilità dei modelli, la sperimentazione affronta dal punto di vista pratico le questioni legate all'impostazione della modellazione tramite un approccio centrale e all'organizzazione della conoscenza nel processo HBIM². Queste tematiche vengono analizzate in riferimento ad architetture afferenti a tipologie e periodi storici differenti ma che hanno in comune importanti caratteristiche: la definizione di regole compositive basate sul rigore geometrico, la classificazione degli elementi formali, la standardizzazione e la ripetizione di componenti costruttive. I casi di studio esaminati sono Palazzo Camuccini a Cantalupo in Sabina (fig.1), nella provincia laziale di Rieti, Palazzo Cesi ad Acquasparta, in Umbria (fig.2), l'Istituto di Botanica e la Scuola di Matematica nella Città Universitaria di Roma (fig.3). I primi due sono rappresentativi della tipologia del loggiato rinascimentale a doppio ordine innestato su preesistenze medievali, gli ultimi due del razionalismo italiano degli anni Trenta. La scelta di questi edifici è tutt'altro che casuale. La cosa che li accomuna, oltre all'essere manufatti di innegabile rilevanza storica e culturale, è la possibilità di esprimere la loro genesi architettonica tramite processi HBIM.

I loggiati dei palazzi rinascimentali di Acquasparta e di Cantalupo in Sabina sono legati al momento in cui le conoscenze riferite all'uso di una matrice stilistica, espressa tramite moduli e proporzioni, cominciavano a circolare tramite la diffusione dei trattati per mezzo della stampa. Essa rivoluzionò la concezione della trasmissione dei testi scritti e delle immagini rappresentate, da sempre affidata alla trasmissione orale e alla produzione amanuense. Il lessico utilizzato nei trattati di architettura del Cinquecento, espresso attraverso l'uso del disegno di geometrie

¹ Cfr. Parte prima, cap.3 *BIM/ HBIM: il tipo*.

² Cfr. Parte seconda, cap.1 *Metodologia*.



HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico





HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 1/ A p.117 Palazzo Camuccini a Cantalupo in Sabina. In alto il fronte d'ingresso, in basso il retro.



Fig. 2/ A p.118 Palazzo Cesi ad Acquasparta. In alto il fronte d'ingresso, in basso il retro.



Fig. 3/ Alla pagina precedente, l'Istituto di Botanica (in alto) e la Scuola di Matematica (in basso) nella Città Universitaria di Roma.



Fig. 4/ Caratteristiche stilistiche e costruttive che accomunano i loggiati rinascimentali a doppio ordine. Da sinistra a destra: in alto dell'Archiginnasio di Bologna, Sant'Ivo alla Sapienza di Roma, al centro il Chiostro del Commendatore e il Chiostro del Bramante a Roma, in basso la Castellina di Norcia e Palazzo Savelli-Orsini a Fianello.



rigorose legate da regole proporzionali, si dissocia da qualsiasi riferimento locale, per astrarsi in forme architettoniche ideali, a cui la realtà costruita deve ispirarsi (fig.4). La vicinanza geografica tra Palazzo Camuccini e Palazzo Cesi, la loro datazione, la committenza e la condivisione delle maestranze al loro servizio, hanno fatto convergere il modello teorico del doppio loggiato che caratterizza entrambi con quello descritto da Jacopo Barozzi da Vignola nella *Regola delli cinque ordini di Architettura*³.

Analogamente a quanto accadeva nel Cinquecento con i trattati e facendo un salto temporale di alcuni secoli, anche i primi anni del Novecento sono caratterizzati dalla diffusione di elementi che influenzano la standardizzazione delle componenti dell'architettura. In questo caso, però, si fa riferimento alle componenti tecnologiche e costruttive, realizzate

³ Vignola J. B. 1562.

2. Sperimentazione



Fig. 5/ Caratteristiche stilistiche e costruttive che accomunano gli edifici razionalisti della Città Universitaria. Da sinistra a destra: in alto l'istituto di Chimica e l'edificio di Geologia e Mineralogia, al centro il Rettorato e l'Istituto di Fisica, in basso l'edificio di Ortopedia e la Facoltà di Lettere.

mediante il sistema di produzione industriale e il conseguente impiego del cemento armato e dell'acciaio. Per tutto il secolo la realizzazione degli edifici ne viene influenzata, tra questi anche l'Istituto di Botanica e la Scuola di Matematica nella Città Universitaria di Roma. In quegli anni, accanto alle questioni di tipo tecnico, legate ai materiali e alle tecnologie costruttive, ne sorgono altre di carattere concettuale. La cultura architettonica e il razionalismo italiano affrontano il problema della rappresentazione simbolica e dell'architettura come linguaggio e guardano al tipo architettonico non solo come criterio utile per la classificazione e la comparazione dell'architettura nella storia, ma come strumento per la progettazione contemporanea (fig.5). Gli edifici di Botanica e di Matematica della Città Universitaria sono realizzati attraverso regole precise, codificate,

elencate in punti prescrittivi e imprescindibili. Il loro layout deriva dalla composizione di forme, che tendendo all'ordine manifestano il senso dell'architettura, e dalla ripetizione e dalla combinazione di elementi semplici e materiali costruttivi che esprimono i concetti di generalità e durata⁴.

Si comprendono quindi le motivazioni della scelta dei casi di studio. Da un lato, la codifica delle regole contenute nella trattatistica cinquecentesca, e la loro applicazione ai palazzi di Cantalupo e di Acquasparta, ben si presta ad essere reinterpretata in uno spazio digitale parametrico che, pur non essendo tangibile come le pagine del trattato, può essere il contenitore digitale e il mezzo di trasmissione virtuale dei principi architettonici da esso espressi. Dall'altro, la ricerca sul tipo architettonico razionalista si pone l'obiettivo di riconoscere e rappresentare l'essenza di ogni edificio, riproponendo in chiave digitale il processo di definizione delle componenti e di condivisione delle relazioni tra le parti su cui si imposta l'intero progetto della Città Universitaria.

Le differenze tra gli edifici selezionati sono molteplici: storiche, strutturali, stilistiche, materiche. Tuttavia, proprio queste diversità consentono di valutare la struttura del processo seguito rispetto a problematiche comuni: il rapporto tra la modellazione semantica e la continuità delle superfici che definiscono l'architettura; la relazione tra la standardizzazione delle componenti su cui si fondano i processi BIM e le irregolarità geometriche; l'affidabilità dei modelli costruiti e la valutazione dello scarto tra la definizione di un modello parametrico ideale, caratterizzato da una forte componente interpretativa, e l'oggettiva precisione del rilievo. Lo scopo di ottenere modelli comparabili ha guidato la definizione di un processo articolato in quattro fasi, seguito per tutti gli edifici. La prima fase comprende le indagini di natura archivistica e bibliografica sui manufatti

⁴ Moccia C. 2016b.

analizzati e sul contesto in cui nascono. Le informazioni raccolte, da una parte costituiscono un valido supporto alle attività di rilievo nello studio e nell'analisi dei casi studio; dall'altra, vengono tradotte in forma digitale per poter sviluppare, ampliandolo, il database di dati da associare ai modelli informati. La seconda fase, più tecnica, coincide con la documentazione dello stato di fatto attraverso le operazioni di acquisizione massiva e l'elaborazione dei dati per ottenere modelli numerici. Questo momento ha previsto anche la definizione di software e applicativi da utilizzare al fine di poter lavorare con dati omogenei dal punto di vista formale, quindi comparabili. La terza fase prende avvio dall'analisi dei dati di rilievo per giungere alla costruzione di modelli parametrici, definendo dapprima il criterio per la scomposizione dell'architettura presa in esame in elementi più semplici, poi la relazione tra con il progetto originale, supportata dalla struttura del *template*, della libreria caricabile e dalla costruzione di un database informativo. La quarta ed ultima fase riguarda l'analisi dei risultati raggiunti, la verifica delle potenzialità e degli aspetti critici del processo in termini di affidabilità, geometrica e ontologica, e dello scambio di dati volto all'interoperabilità.

Lo studio sperimenta nuove metodologie di caratterizzazione del modello parametrico che puntino a preservare al contempo sia l'aspetto geometrico, sia la natura delle informazioni acquisite tramite la conoscenza diretta e indiretta. Inoltre, cerca di dare una risposta coerente con i principi dell'HBIM risolvendo la complessità dell'architettura non più tramite un modello doppio, in cui idealità e realtà sono considerate in modo esclusivo e incompatibile. Si predispongono, invece, un unico sistema in cui esse riescano a convivere e in cui proprio la loro incoerenza costituisce la prima fonte di informazioni per comprendere come il tempo abbia modificato l'architettura. Il

processo HBIM identifica gli elementi necessari alla realizzazione del modello, rappresenta le forme del linguaggio architettonico, stabilisce le corrette relazioni sintattiche e organizza il quadro informativo, rendendo riconoscibile la verità, più che l'oggettività, della natura e dei principi sottesi alla costruzione degli edifici studiati.

I loggiati rinascimentali del centro Italia: tra architettura militare e civile

Quando si pensa ai centri minori dell'Italia medievale e alla loro configurazione territoriale, la prima immagine che ci appare è quella della cinta muraria come il principale elemento che rappresenta l'identità cittadina. In realtà, molte città rurali erano sprovviste di mura e venivano difese unicamente da piccoli castelli o roccaforti delimitati da recinti fortificati che collegavano le torri di avvistamento, sufficienti a proteggere temporaneamente la popolazione nei momenti di grave pericolo. Nel primo Medioevo cresce l'importanza dei piccoli borghi grazie ad alcuni nobili ed ecclesiastici, che esercitano il potere politico ed economico realizzando nei loro grandi feudi rocche e fortezze attorniate da costruzioni per la popolazione contadina. Questa impostazione ha determinato l'assenza di una distinzione ben precisa tra la costruzione del castello e del palazzo rurale⁵, considerati gli antenati della tipologia della villa costruita a cavallo tra il Quattrocento e il Cinquecento, in alcuni casi costituendone il nucleo generatore⁶. In questo periodo storico anche questi piccoli contesti antropici risentono del fermento culturale, politico, sociale e artistico che il Rinascimento porta con sé. Il concetto di città, a prescindere dalle sue dimensioni, viene riletto in chiave classica così come l'aveva descritta Vitruvio: uno spazio in cui vivere in armonia, un luogo di incontro sociale, di organizzazione politica e di pianificazione economica⁷. L'architettura

⁵ Burns H. 2012.

⁶ Battilotti D. 2015, p.83.

⁷ Nel libro I del *De Architectura* Vitruvio espone alcune considerazioni sui luoghi per l'architettura dal punto di vista urbanistico, fisico, geografico, difensivo oltre che politico e sociale. In particolare: *Della scelta de' luoghi sani* (cap. IV); *Della costruzione delle Mura e delle Torri* (cap. V); *Della distribuzione, e situazione delle fabbriche dentro le mura* (cap. VI); *Della scelta de' luoghi per usi pubblici* (cap. VII).

2. Sperimentazione

tura serviva a creare uno spazio congruo all'essere umano, pensato a sua misura e in grado di garantire il vivere civile, di cui il decoro rappresentava un presupposto fondamentale. Questa attenzione al vivere civile viene accolta da principi, vescovi e nobili che se ne servono come elemento di propaganda e di autocelebrazione. Si assiste ad un processo che vede come protagonista della vita sociale la corte e il signore che la governa, in cui l'architettura occupa un ruolo sempre più importante. In primo luogo per ragioni legate alle nuove esigenze di difendere la città e le costruzioni, poste in essere dalla diffusione crescente delle armi da fuoco e dalla conseguente modifica delle tecniche di guerra. In secondo luogo perché l'orizzonte culturale del Cinquecento erge l'architetto, e l'artista in generale, ad una nuova posizione in seguito ad una collocazione delle arti sui piani elevati dell'intelletto e alla conseguente rivalutazione della produzione artistica. Un esempio significativo in tal senso si ritrova nel Ducato di Urbino, governato da Federico da Montefeltro dal 1474 al 1482 (fig.6). Federico, abile condottiero al servizio del Papa e colto umanista, investì i proventi derivati dalle campagne militari in un rinnovamento politico, urbanistico e architettonico della sua corte, trasformando completamente il volto di Urbino da cittadella fortificata di foggia medievale, con strade tortuose e strette, ed edifici ammassati gli uni sugli altri, a centro urbanistico rinascimentale. Presso la corte si recò più volte il noto matematico e religioso Luca Pacioli che, nel suo trattato *De Divina Proportione* pubblicato nel 1509, sollecita i signori a costruire le loro città, seguendo il «carattere divino delle proporzioni»⁸. L'origine matematica della bellezza contribuisce allo sviluppo di quel clima di città ideale che si era andato formando grazie ad una sapiente gestione politica e ad un'attività architettonica ed edilizia basata su progetti e



Fig.6/ Ducato di Urbino ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palazzo_Ducale,_Urbino_\(Marche\)_02.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palazzo_Ducale,_Urbino_(Marche)_02.JPG)) e vista interna del chiostro (<https://www.flickr.com/photos/angus-kirk/3671857562/>).

⁸ Nell'Epistola dedicatoria del *Compendium alla Divina Proportione* Pacioli esplicita come dalle scienze matematiche derivi il miglioramento e la rinascita della società, specificando il loro impiego nella costruzione di fortificazioni, ponti e strumenti di difesa.

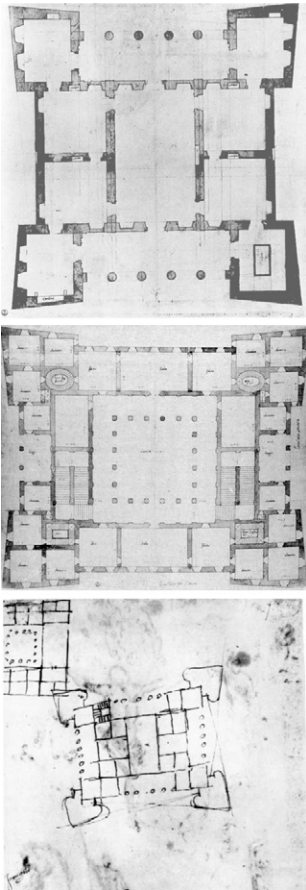


Fig. 7/ Il tipo edilizio della casa forte: Baldassarre Peruzzi, *Pianta di villa bastionata*, GDSU, 614 A.; Lorenzo Donati, *Pianta di villa fortificata* (al centro), GDSU, 1978 A.; Francesco di Giorgio Martini e Baldassarre Peruzzi, *Progetto per una villa fortificata* (in basso), GDSU, 336 A.

9 La *Portikusvilla mit Eckrisaliten*, secondo la definizione di Karl Swoboda, è riconoscibile in una struttura a portico con loggia soprastante, con due corpi aggettanti ai lati di uguale o maggiore altezza, all'apparenza vere e proprie torricelle angolari peraltro prive di rampe interne, riferibile ai prototipi castrensi ducali ed ecclesiastici.

calcoli precisi e sull'utilizzo di forme geometriche perfette. Nelle pianure e nelle valli destinate all'agricoltura si profila un nuovo paesaggio: sopra le case dei contadini sveltano non solo chiese e campanili ma anche un nuovo tipo edilizio, la cosiddetta "casa forte" o "villa fortificata" (fig.7). L'esigenza di maggior sicurezza delle campagne e una mutata concezione di comfort indirizzarono verso strutture residenziali meno condizionate da necessità difensive, più ampie e comode, meglio organizzate, più aperte. Molteplici e discordi sono le opinioni sui modelli di riferimento: urbani, rurali, castellani, insediamenti monastici, schemi di edilizia antica come la *Portikusvilla mit Eckrisaliten*⁹, con fronte a logge tra pieni angolari, persistenti nella tradizione rurale¹⁰. La ricerca di un modello tipologico è il tema degli studi di James S. Ackerman¹¹ per sostenere la concezione della casa forte come archetipo latente nella storia, che ha permesso una continuità di forme e significati dall'antichità fino al Rinascimento, passando attraverso l'architettura tardo-antica e medievale¹². Gli architetti rinascimentali si interessano alla residenza ricercando una nuova dignità formale, raggiungibile attraverso la regolarizzazione degli elementi in pianta e in alzato, unita alla caratteristica estetica secondo il nuovo stile all'antica che ha come riferimento teorico l'abitazione romana descritta da Vitruvio¹³. Il castello quattrocentesco, a volume chiuso e dal forte carattere fortificato, cede il passo a schemi più aperti che si adattano al sito e alla popolazione con logge e terrazzamenti, anticipando la fortuna del giardino all'italiana. Un primissimo esempio di architettura realizzata in quest'ottica è costituito dalla tenuta di Poggio Caiano, acquistata da Lorenzo de' Medici nel 1474. Questa dimora signorile di campagna, commissionata a Giuliano da Sangallo verso il 1480, manteneva l'aspetto di una roccaforte grazie alla struttura esterna, con torri angolari costruite

2. Sperimentazione

per proteggere la tenuta. La villa è uno straordinario manifesto di autorappresentazione: tra le innovazioni, originali per l'epoca, si registrano il porticato al pian terreno, zona filtro tra il paesaggio circostante e la villa, e la loggia con il frontone classicheggiante al piano nobile. La distinzione dei due livelli è tanto figurativa quanto funzionale: la separazione tra il piano inferiore, per la servitù, e il piano nobile superiore, è sottolineato dal contrasto tra i semplici portici dorici in basso e la loggia ionica trabeata al di sopra (fig.8). Così, il paesaggio italiano subisce un ingentilimento coerente con la ripresa dell'interesse per la letteratura e l'architettura antica. L'edificio che simboleggia una concezione globale dell'universo intellettuale che pone al centro l'essere umano è il palazzo, non più il castello, il cui ricordo rimane nelle numerose residenze che ne hanno riutilizzato o inglobato le strutture, assicurandosi materiale edile disponibile in loco e una posizione favorevole, oltre che il valore simbolico di antica nobiltà feudale¹⁴. La consistente produzione edilizia cinquecentesca ha un ruolo di ampliamento, cosmesi e aggiornamento linguistico a cui la preesistenza continua a fornire il supporto materiale e patrimoniale. Nella trasposizione dall'ambiente urbano a quello campestre si accolgono varianti che introducono nel volume compatto spazi aperti di transizione tra esterno e interno, declinati in vari modi. Questi spazi di transizione assolvono a diverse funzioni, soddisfacendo sia esigenze pratiche di riparo, collegamento e integrazione degli spazi esterni con quelli interni, sia esigenze rappresentative. Portici e logge sono gli elementi distintivi, insieme alle torri, delle case forti cinquecentesche.

Tra i più importanti progetti di ville fortificate sono annoverati quelli di Jacopo Barozzi da Vignola per la villa per il cardinale Matteo Cervini (1538)¹⁵, la Castellina di Norcia (1554-1562)¹⁶, raggiungendo la

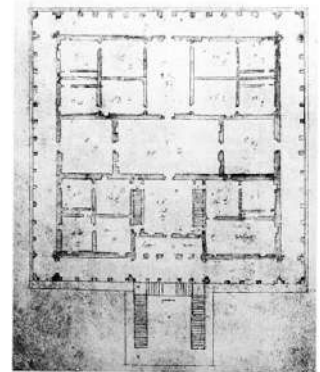


Fig. 8/ Poggio a Caiano, del pittore Giusto Utens (1588); Veduta della villa di Poggio di Antonio Terreni, 1801 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Giusto_utens,_lunette_delle_ville_medicee,_1599-1602,_dalla_villa_di_artimino,_poggio_a_caiano_01.JPG); Pianta del piano terreno tratta dal Taccuino senese di Giuliano da Sangallo, foglio 19v, (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/91/Villa_di_poggio_a_caiano_1801.jpg).

¹⁰ Battilotti D. 2015, p.83

¹¹ Nei saggi *The Belvedere as a classical villa* (1951) e *Sources of the Renaissance villa* (1963), lo studioso americano ricostruisce le tappe dello sviluppo storico che avevano portato alla comparsa della nuova "villa fortificata" del Rinascimento italiano, sulla scia delle intuizioni di Swoboda a proposito della *Portikusvilla mit Eckrisaliten* (villa con portico e massicci blocchi angolari). Le idee di Ackerman confluiranno nel volume *The villa: form and ideology of country houses* (1990).

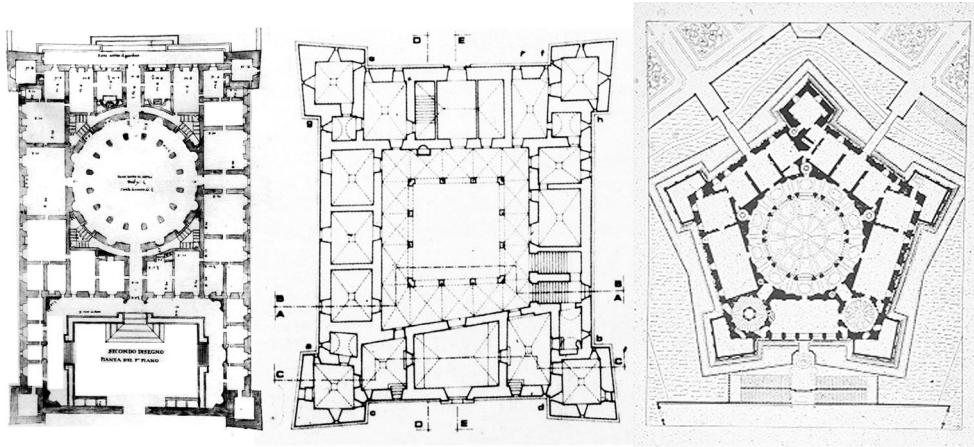


Fig. 9/ Jacopo Barozzi da Vignola: Villa Cervini al Vivo d'Orcia, pianta del piano terreno, Berlino, KSMPK, inv. 1979.6. A.O.Z. 2; Castellina di Norcia, pianta del piano terreno; Palazzo Farnese di Caprarola, pianta (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Farnese_Vignola.jpg).

massima espressione nella villa di Caprarola (1556-1575)¹⁷(fig.9). Quest'ultima, progettata da Sangallo e Peruzzi in forma di fortezza, fu trasformata da Vignola in un lussuoso palazzo fortificato ispirato alla casa romana e quindi allo spazio termale, a ribadire lo stretto legame tra corpo e spirito che imperverosa nell'epoca rinascimentale. Qui, pur mantenendo la pianta pentagonale dell'originaria fortificazione, Vignola trasforma i bastioni angolari della fortezza in ariose e scenografiche terrazze aperte sulla campagna circostante, mentre al centro realizza un cortile circolare con una loggia su due livelli, di ordine dorico al piano inferiore, ionico al primo piano, e un terzo livello leggermente arretrato (fig.10). Proprio il loggiato diventa un elemento progettuale strategico, ricorrente nei trattati di architettura rinascimentali, che si afferma come modello costruttivo in grado di soddisfare molteplici esigenze. Caratterizzato dall'ordine architettonico che inquadra l'arco, costituisce il modello ideale per la definizione di un tipo edilizio in cui le varie componenti si ripetono con serialità (fig.11). L'ordine può ritenersi l'emblema delle regole, delle forme caratteristiche della geometria piana e della loro naturale evoluzione nello spazio a tre dimensioni.

12 Guza K. 2016, p. 30

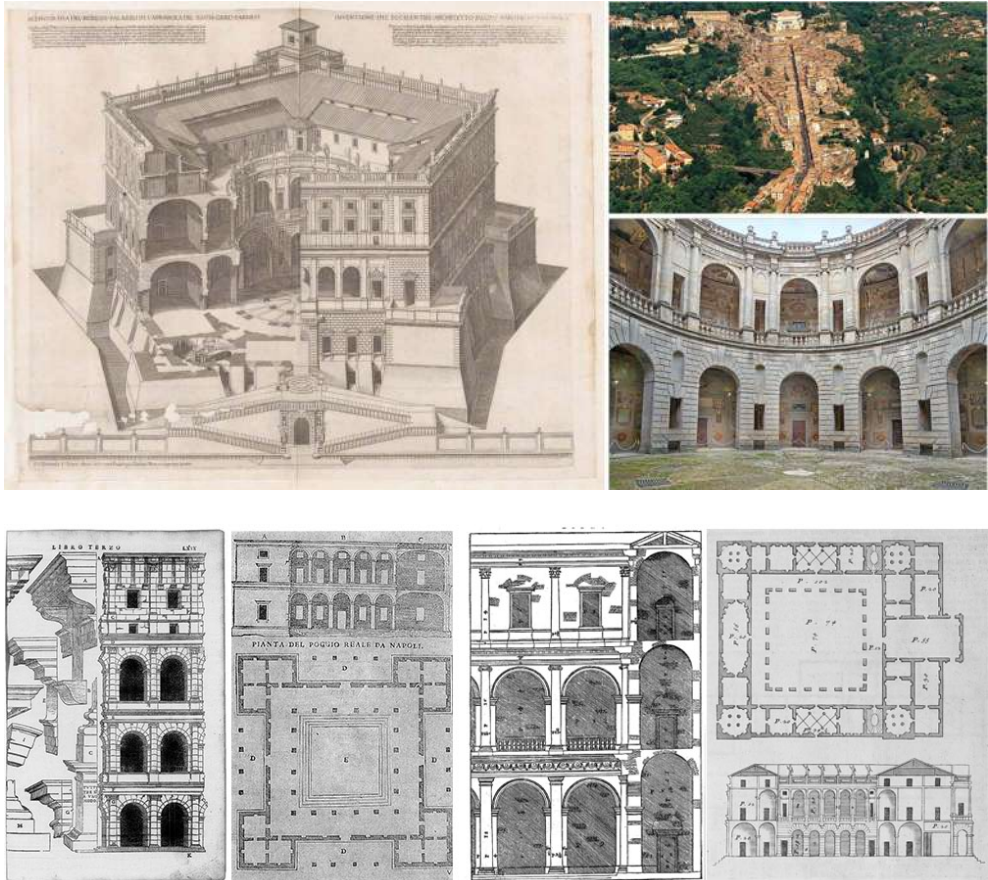
13 Vitruvio M. P. II, 8, 17; VI, 5, 1-2.

14 Battilotti D. 2015, p.83.

15 Frommel C. L. 2002b

16 Ricci M. Cesi A. 2002, pp. 161-162.

17 Buchicchio Fagliari Zeni F. T. 2002; Fagiolo M. 2007; Zanasi G. 2007.



Palazzo Camuccini a Cantalupo in Sabina e Palazzo Cesi ad Acquasparta

La Sabina, regione dell'Italia centrale situata tra Umbria, Lazio e Abruzzo, subisce dall'VIII secolo un processo di "incastellamento", caratterizzato dalla concentrazione del potere in piccoli feudi simboleggiati da castelli. Dal XII secolo la sua storia della Sabina, e quella di molti paesi nelle vicinanze, si intreccia con quella del pontificato e delle grandi famiglie romane, la cui egemonia viene espressa dalle costruzioni architettoniche. Durante il Rinascimento molti vecchi castelli della Sabina, a Roccasinibalda, Collalto e Orvinio furono trasformati in palazzi baronali,

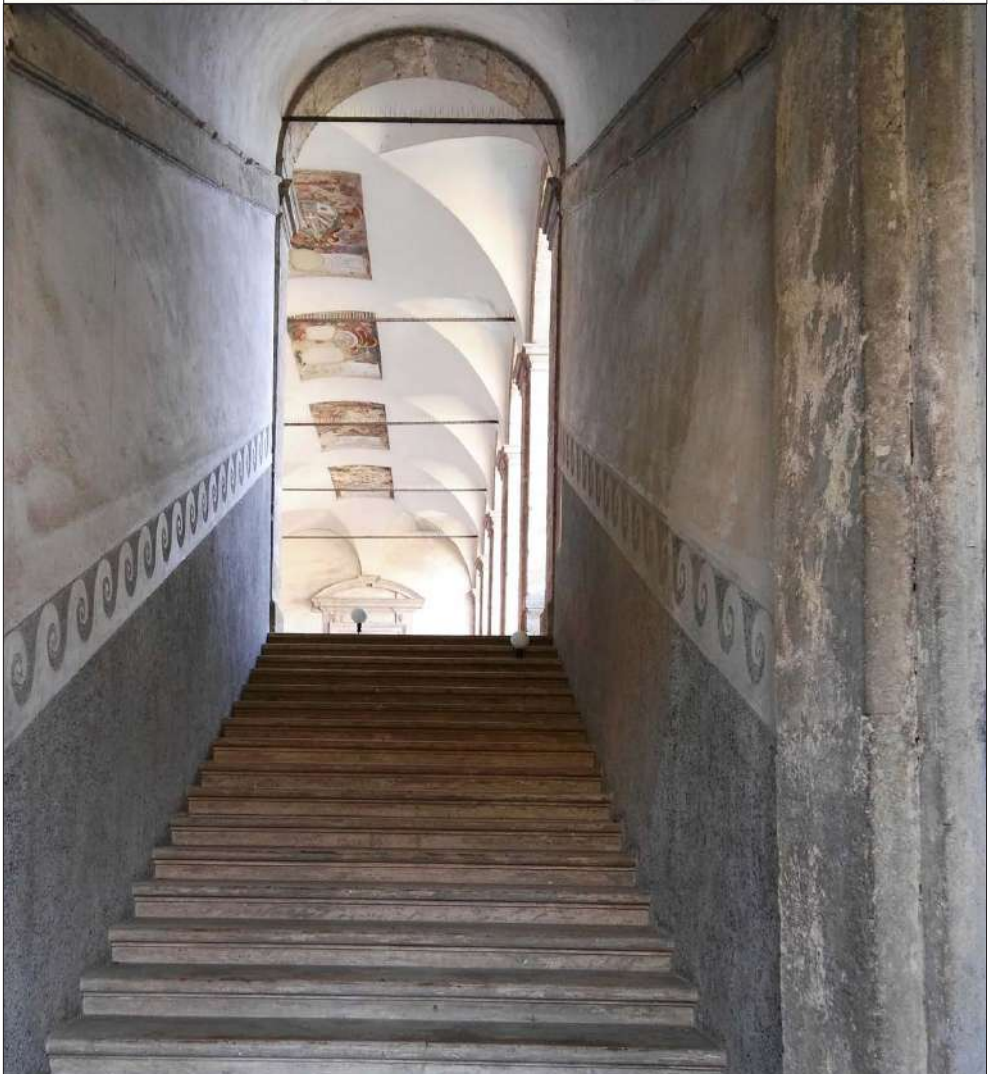
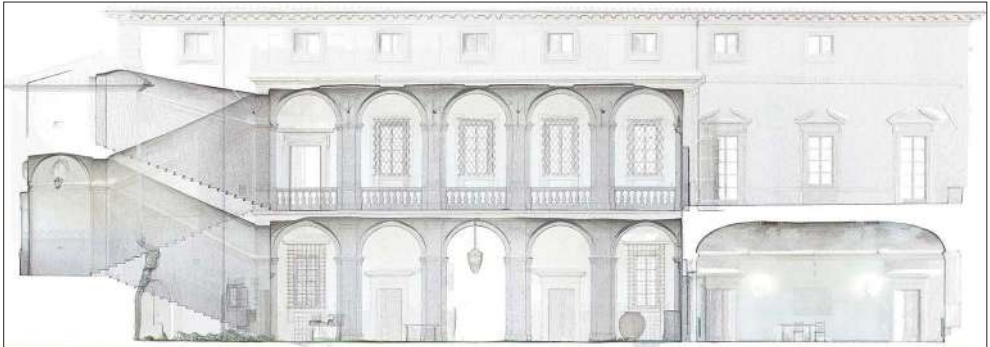
Fig. 10/ Palazzo Farnese di Caprarola di Jacopo Barozzi da Vignola. A sinistra rappresentazione assonometrica, in alto vista del borgo di Caprarola <https://jenikirbyhistory.getarchive.net/amp/media/speculum-romanae-magnificentiae-farnese-palace-df927c>, in basso vista del cortile circolare interno con i due ordini di logge e il terzo livello arretrato (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:La_cour_circulaire_int%C3%A9rieure_%28Palais_Farnese,_Caprarola,_Italie%29_%2839911971770%29.jpg).

Fig. 11/ Alla pagina precedente, tavole tratte dall'edizione Veneziana (1544) de «Il Terzo Libro Di Sabastiano Serlio Bolognese, Nel Qual Si Figvrano, E Descrivono Le Antiquita Di Roma, E Le Altre Che Sono In Italia, E Fvori De Italia» (a sinistra). La tavola LXIX mostra rappresentazioni tridimensionali di particolari e disegni complessivi del Colosseo.

A destra la sezione e la pianta della villa di Poggio Reale a Napoli tratte dal «Secondo Libro» (1570) di Andrea Palladio, tavola 22:2-31, tavola 9:2-13.

altri furono parzialmente demoliti e ricostruiti; tra questi, il Palazzo Camuccini a Cantalupo, il Palazzo Orsini a Toffia o il Palazzo Savelli a Fianello Sabino. Palazzo Camuccini rientra tra i possedimenti della famiglia Cesi, una delle più illustri e prestigiose famiglie umbro-romane, ricordata per la moltitudine di suoi membri legati ad attività scientifiche e culturali di alta levatura. I Cesi possedevano anche il palazzo ducale di Acquasparta, importante esempio di diverse trasformazioni, ampliamenti e innesti sulla preesistente casa del Cardinale. Il progetto, inizialmente attribuito al Vignola, fu realizzato nel 1561 da esponenti della sua scuola, Guidetto Guidetti e Giovan Domenico Bianchi. La costruzione, eseguita intorno al 1579, si distingue per la marcata differenza tra le due ali dell'edificio, l'innesto su due parti della cittadella visibilmente non simmetriche e incombenti sulla sottostante via Flaminia, la particolare conformazione della facciata con i due avancorpi inspiegabilmente piegati verso il centro. Sulla circostanza che l'attuale palazzo avesse accorpato precedenti costruzioni si esprimeva lo storico dell'architettura Stefano Marani, ipotizzando la presenza di un impianto antico e di una struttura preesistente oggetto di trasformazione, osservando che la scala che si trova al di fuori del corpo dell'edificio costituiva, insieme alla loggia posteriore, una costruzione successiva rispetto al corpo centrale (fig.12). Questa è comunque un'ipotesi ad oggi non dimostrata, così come quella che vede nei due attuali avancorpi il residuo di due torri medievali¹⁸. Di esse non sembra provata in alcun modo l'esistenza, l'esame delle piante e la attenta verifica dei muri perimetrali, elaborate dagli uffici Tecnici del Comune di Acquasparta, non evidenzia precedenti costruzioni inglobate nell'attuale edificio. Tuttavia, la configurazione del fabbricato offre alcuni spunti di riflessione: la sua posizione, né al centro della cittadina, né sul suo

¹⁸ Sapori G., Vinti C., Conti L. 1992.



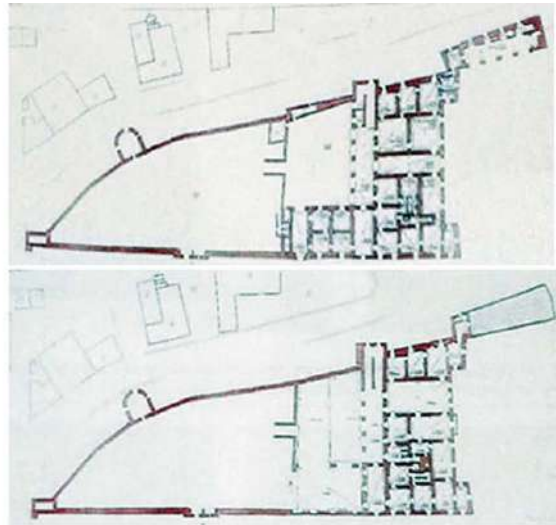
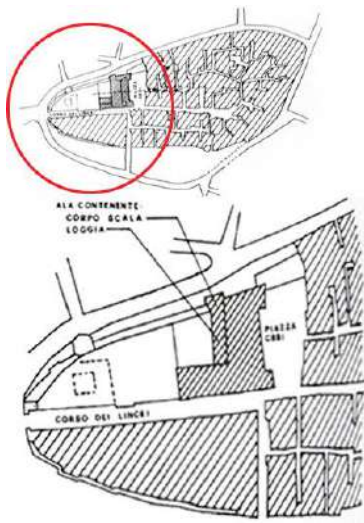


Fig. 12/ Alla pagina precedente, vista del modello numerico di Palazzo Cesi in cui si evidenzia l'andamento continuo del corpo del loggiato con quello del corpo scala, autonomi rispetto al complesso (in alto) e vista dalla scala verso il loggiato superiore (in basso).

Fig. 13/ A sinistra: S. Marani, collocazione di Palazzo Cesi all'interno dell'abitato; evidenza della loggia posteriore e del corpo scala considerate dal Marani corpo aggiunto successivamente al corpo principale. A destra, disegni tecnici dal Comune di Acquasparta: pianta del piano terra e del piano primo (De Petra 2016, pp.51,52).

19 A Bologna il Cesi realizzò l'ampliamento di San Petronio e la costruzione dell'Archiginnasio, che presenta un lungo portico di 30 arcate e si articola in due piani intorno ad un cortile centrale con un loggiato a doppio ordine. A Roma, invece, tra il 1565 e il 1580 sarà a servizio di Pio V, papa che seguì direttamente i lavori del chiostro di Sant'Ivo alla Sapienza e del Chiostro del commendatore del Complesso di Santo Spirito in Saxia.

20 Biagetti A. 1934, De Petra G., 2016, Sturm S. 2014.

punto più alto, e la chiusura del lato a nord, ove è il luminoso loggiato con un giardino delimitato dalla cinta muraria, fa ancora pensare ad una evoluzione di un progetto originario, forse ancora più vasto (fig.13,14). Nel 1566, Pierdonato Cesi, sulla scia degli interventi architettonici di Bologna e Roma¹⁹, propone una rivisitazione della residenza fortificata di Cantalupo. L'architetto Giovan Domenico Bianchi di Milano, incaricato della trasformazione del castello feudale in dimora nobile, ripeté il disegno realizzato per il castello di Acquasparta ma invertendo l'ordine dei prospetti²⁰. La facciata di Palazzo Cesi è il fronte posteriore del palazzo di Cantalupo, e i fornicati del portico e della loggia nell'edificio umbro costituiscono invece il prospetto principale del Palazzo Camuccini. Il palazzo di Cantalupo si mostra in una esplicita veste rinascimentale, con un portico cinquecentesco a due piani sovrapposti con decorazione di pilastri dorici e ionici che supportano l'attico²¹. L'affinità tra i due palazzi, realizzati dalle stesse maestranze²², si ritrova nella fedele ispirazione alle severe e composte forme vignolesche dei prospetti e ricordando nei due avancorpi che riecheggiano



HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

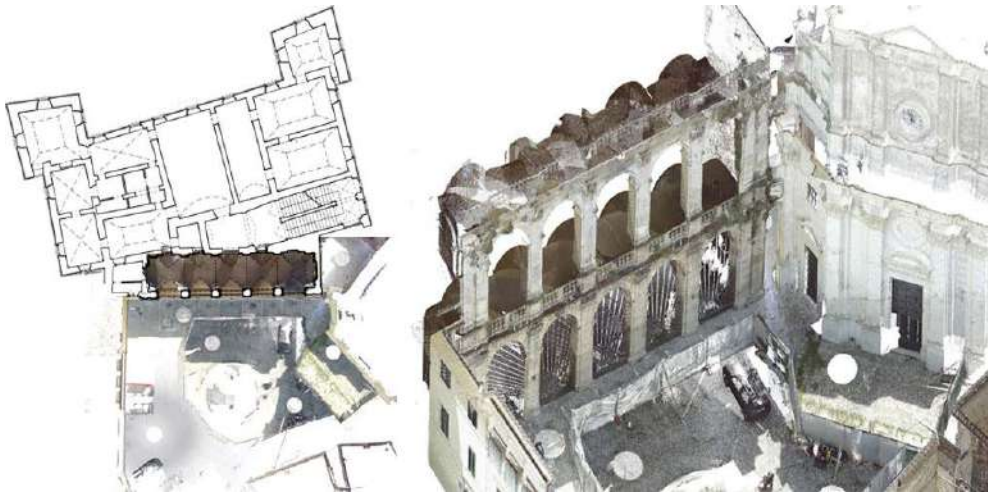


Fig. 14/ Alla pagina precedente, viste dal loggiato del primo livello del Palazzo Cesi verso il giardino a nord.

Fig. 15/ Viste della nuvola di punti del loggiato di Palazzo Camuccini: a sinistra vista dall'alto e inserimento in pianta, a destra: vista assonometrica.

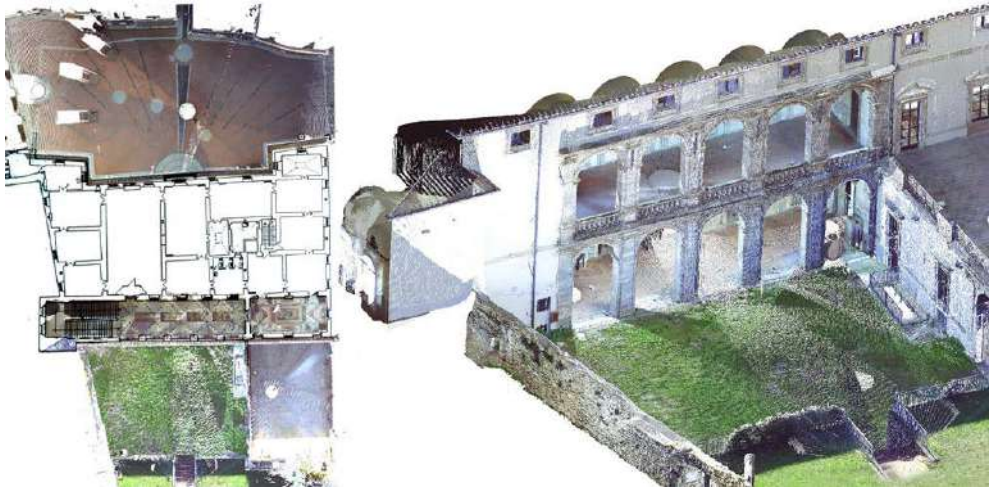
l'aggetto dei bastioncelli del Palazzo Farnese di Caprarola o dei torrioni della Castellina di Norcia. Importanti sono, inoltre, le classiche ispirazioni bramantesche e sangalliane espresse nel duplice ordine di fornic del portico e del loggiato, nelle gravi lesene decorative doriche e ioniche, nel vivace contrappunto chiaroscurale delle balaustre, mitigato dalle larghe pause dei plinti e legato alla misurata cadenza di luci ed ombre alterne, create da pilastri e da arcate.

Il rilievo e l'analisi dei dati

Il rilievo dei loggiati di Palazzo Camuccini e di Palazzo Cesi è stato impostato tenendo in considerazione l'appartenenza dei casi di studio alla medesima categoria architettonica ma adattando la metodologia di acquisizione alle specificità dei diversi contesti in cui si collocano. Nel caso di Palazzo Camuccini, il doppio loggiato presente sul fronte è rivolto verso una piazza, parzialmente fruibile a causa del restauro alla fontana. Anche la loggia del piano superiore, come l'intero palazzo, è inaccessibile per ragioni di sicurezza. Queste condizioni hanno determinato un progetto di presa fortemente limitato dal contesto (fig.15).

21 In origine è probabile che la facciata del palazzo di Cantalupo fosse coronata da alcune statue, così come è raffigurato in un affresco all'interno dell'edificio (Sturm S. 2014, Dal Mas R. 2015).

22 Un rogito del 7 ottobre 1565 attesta la presenza anche ad Acquasparta del Bianchi che, l'anno seguente, viene ufficialmente nominato architetto operante a servizio della famiglia Cesi, sotto cui l'opera fu portata a compimento nel 1579.



Nonostante queste difficoltà, trattandosi di un ambito ridotto, il rilievo è stato eseguito con precisione millimetrica e, nonostante le zone d'ombra, è risultato esaustivo per consentire l'analisi completa. Inoltre, particolare cura è stata posta nell'esecuzione delle riprese fotografiche, soprattutto degli apparati scultorei e decorativi, con l'obiettivo di integrare i modelli con i dati derivanti da processi fotogrammetrici. La campagna di rilievo del Palazzo Cesi di Acquasparta, invece, si svolge in un contesto ben differente da quello di Cantalupo. Il doppio loggiato si affaccia sul giardino privato del palazzo, delimitato dalle mura che segnano i confini del borgo e individuano il corso principale di Acquasparta, uno spazio che non si confronta mai con il centro abitato se non indirettamente. Il rilievo è stato condotto sulla base delle caratteristiche morfologiche delle strutture, potendo sfruttare anche il collegamento verticale diretto tra i due piani attraverso la scala esterna (fig.16).

L'analisi dei dati acquisiti si è soffermata sul sistema dell'ordine che caratterizza entrambi i palazzi: l'ordine dorico per il portico del livello inferiore, l'ordine ionico per il loggiato del primo piano.

Fig. 16/ Viste della nuvola di punti del loggiato di Palazzo Cesi: a sinistra vista dall'alto e inserimento in pianta, a destra: vista assonometrica.

Le proporzioni dei due ordini sono state analizzate confrontando le informazioni desunte dal rilievo con quelle indicate nella trattatistica. La scelta della Regola del Vignola come riferimento teorico nella costruzione dei loggiati è determinata in primo luogo da una ragione temporale. La costruzione dei due casi di studio (1566-1579) è immediatamente successiva all'anno di pubblicazione del trattato (1562). La seconda motivazione è legata al trattatista, ai luoghi da lui frequentati in quegli anni e alle conseguenti probabili influenze sulle maestranze operanti nella Sabina e nelle zone limitrofe. Infine, risulta interessante notare che proprio nello stesso arco temporale (1559-1575) il Vignola realizzava in uno dei suoi più grandi lavori, il Palazzo Farnese di Caprarola che, sebbene estremamente magnificente rispetto ai Palazzi della famiglia Cesi, è certamente affine al tipo architettonico.

Sulla base delle indicazioni del trattato vignolesco è iniziata la verifica della rispondenza alla regola degli ordini dei due edifici. Lo studio della Regola come riferimento teorico evidenzia un approccio di tipo parametrico: le relazioni proporzionali tra le diverse componenti sono governate, sulla carta, da un principio proporzionatore svincolato da qualsiasi unità di misura temporale o locale definito modulo, coincidente con la semilarghezza della colonna. La possibilità di misura del modulo sul modello numerico consente di configurare lo spazio sulla base di una dimensione reale, definendo a priori un modello archetipo del loggiato, ovvero l'aspetto che la costruzione avrebbe in assenza di condizionamenti esterni dovuti alle preesistenze. La differenza, lo scarto, tra un modello archetipo e un modello geometrico teso alla rappresentazione dello stato dei luoghi, caratterizza lo spazio di progetto che l'architetto si trova a dover governare. Sapendo che la misura del modulo, oltre ad essere la semilarghezza della co-

lonna, deriva anche dalla divisione delle dimensioni dell'ordine completo in un numero di parti che varia a seconda dell'ordine considerato, dovrebbe essere semplice, a partire dai dati di rilievo, dedurre il modulo del loggiato e del portico dei due palazzi.

L'ordine dorico del Vignola è così definito:

«Il modo del fare la divisione di questo ordine dorico senza il piedestallo si è che partita tutta la sua altezza in parti 20 di una di queste parti se ne fa il suo modulo, il quale pur si divide in parti 12. Come quello del Toscano alla base coll'imo scapo della colonna si darà un modulo. Il fusto della colonna senza l'imo scapo si farà de moduli 14, il capitello sarà un modulo, l'ornamento poi cioè è architrave fregio et cornice avranno moduli 4, che è la quarta parte della colonna con la base e il capitello, come è detto ddietro dover esser. L'architrave 1, il fregio 1 ½ et la cornice 1 ½ che raccolti questi insieme sono 4 et poi raccolti cogli altri vanno a 20»²³.

«Volendo fare ornamento de loggie over portici d'ordine Dorico si deve (come è detto) partir l'altezza in parti 20, et formare il modulo; poi distribuire le larghezze che venghino da un pilastro all'altro moduli 7 et li pilastri siano moduli 3, che così veniranno partite le larghezze con le altezze alla sua proporzione con la luce delli vani di due larghezze in altezza et veniva la giusta distribuzione delle metope et triglife come si vede. Resta solo havere in considerazione che la colonna deve uscire fuori dal pilastro 1/3 di modulo più del suo mezzo, et questo si fa perché le proiezioni delle imposte non passino il mezzo delle colonne, et questa sarà regola universale in tutti li casi simili de tutti gli ordini»²⁴.

Prima ancora di analizzare le varie componenti architettoniche, però, è doveroso notare che in Palazzo Camuccini il portico del piano inferiore non

²³ Tav VIII.

²⁴ Tav X.

presenta tutti gli elementi dell'ordine: mancano architrave e fregio e il capitello è direttamente a contatto con la cornice. Con questa premessa, risulta a priori inefficace dividere la totalità dell'altezza in venti parti poiché questa operazione sottintende la presenza di tutti gli elementi. Considerando solo il rapporto tra il modulo e l'altezza della colonna, essa, alta 5,40 m inclusi base e capitello, è stata divisa in sedici parti. La dimensione rinvenuta, 33,75 cm, non ha avuto il riscontro aspettato con la semi-larghezza della lesena di 38,5 cm.

L'analisi del rilievo di Palazzo Cesi è stata condotta con la stessa metodologia, dal momento che anche in questo caso la trabeazione dell'ordine dorico presenta soltanto la cornice. I due livelli inferiori presentano le stesse dimensioni: la divisione in sedici parti dell'altezza della colonna, anch'essa di 5,40 m, dà come risultato una misura che, al contrario del caso precedente, coincide con la metà della colonna, larga 67,50 cm.

La stessa procedura viene applicata per il piano superiore di entrambi i palazzi considerando che l'ordine ionico del Vignola è così definito:

*«Havendosi a fare l'ordine Ionico senza il piedistallo tutta l'altezza s'ha da partire in parti 22 ½ et di una di queste farne il modulo, il quale va diviso in parti 18, et questo avviene che per essere ordine più gentile del Toscano ed del Dorico ricerca più minute divisioni. La sua colonna deve essere 18 moduli con la base et capitello, lo architrave modulo 1 ½ il fregio modulo 1 ½ la cornice moduli 4 ½ che è la quarta parte dell'altezza»²⁵.
«Dovendosi fare portici o loggie di ordine Ionico si faranno i pilastri grossi moduli 3 et la larghezza del vano moduli 8 ½ et l'altezza moduli 17 che sarà doppia la larghezza la quale è regola da osservare fermamente in tutti gli archi di simili ornamenti ogni volta che gran necessità non astringa»²⁶.*

25 Tav XV.
26 Tav XVI.

Al primo piano del palazzo di Cantalupo, la presenza della balconata del loggiato potrebbe indurre a pensare ad un ordine con piedistallo. Tuttavia, essa non rispetta nessuna proporzione legata al trattato e probabilmente svolge solo la funzione di parapetto. Il secondo livello si presenta con tutti gli elementi compositivi: colonna, trabeazione e arco incorniciato. In analogia con il processo applicato al portico inferiore, si divide l'altezza della colonna, di 5,20 m, in diciotto parti. Il risultato è una misura di 28,9 cm che, similmente al portico del piano terra, non trova riscontro nella semilarghezza della colonna, pari a 32,50 cm. Entrambi i livelli, quindi, non risultano proporzionati rispetto ai dettami del trattato di Vignola.

L'ordine ionico di Acquasparta, analogamente al portico dorico di Palazzo Camuccini, presenta una trabeazione incompleta. Porzionando l'altezza della colonna di 4,45 m si riscontra che la dimensione di 24,7 cm non coincide con la metà della larghezza della colonna, che misura 27,75 cm.

La costruzione dei modelli archetipi (fig.17) di portici e logge, derivati dalla definizione dell'ordine secondo il trattato, evidenzia le difformità e le problematiche di un intervento progettuale che con difficoltà riesce ad adeguarsi al contesto preesistente seguendo le norme.

In Palazzo Camuccini la modellazione degli archetipi rivela un'area di intervento più ampia rispetto a quello descritto dal modello di rilievo, l'ambito risulta più largo di quello definito dalle cinque arcate ma non ampio abbastanza da poterne aggiungere una sesta, motivo per cui l'architetto potrebbe aver deciso di colmare l'esubero aggiungendo le doppie colonne alle estremità. Inoltre, seguendo rigorosamente le norme del trattato, il doppio loggiato avrebbe dovuto essere notevolmente più alto,

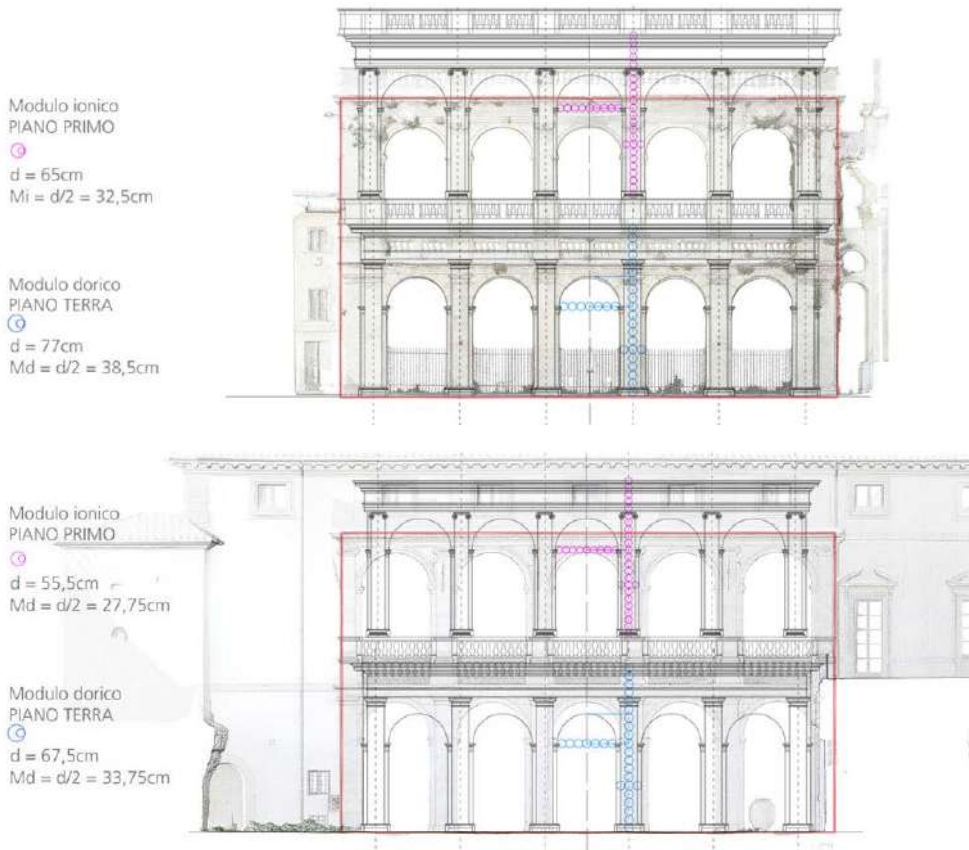


Fig. 17/ Confronto tra l'ambito di progetto e il modello archetipo da trattato costruito sulla misura del modulo reale pari alla semilarghezza delle colonne di Palazzo Camuccini (in alto). Confronto tra l'ambito di progetto e il modello archetipo da trattato costruito sulla misura del modulo reale pari alla semilarghezza delle colonne di Palazzo Cesi (in basso).

ma ridurre l'altezza delle colonne, e quindi il valore del modulo, avrebbe comportato automaticamente un'ulteriore riduzione di spazio in larghezza. Probabilmente, la scelta progettuale dell'architetto di eliminare alcune componenti è volta a risolvere questa problematica.

Il Palazzo Cesi, invece, segue le regole del trattato nell'ordine del portico inferiore, mentre presenta le stesse difficoltà di adattamento alla regola nell'ordine superiore. Il confronto tra il modello archetipo e il modello numerico mostra che probabilmente, anche in questo caso, i due ordini avrebbero dovuto estendersi maggiormente in altezza e che, per questo motivo, dovrebbe essere stato usato l'espedito

progettuale dell'eliminazione di alcune componenti nella trabeazione di entrambi gli ordini.

Queste considerazioni potrebbero erroneamente indurre a pensare che potrebbe essere utile procedere per tentativi al fine di adattare, se non "la" regola, "una" regola ai dati di rilievo. Tuttavia, questo porterebbe a perdere di vista il motivo che sottende l'intero intervento architettonico, ossia l'innesto di un doppio loggiato rinascimentale in una residenza fortificata medievale. La lettura dei casi di studio quindi cambia radicalmente prospettiva: invece di focalizzarsi sulle componenti dell'ordine, anche le più minute, per identificarne l'aderenza o meno al trattato, si analizzano le caratteristiche geometrico-proporzionali dei volumi dei due loggiati, le relazioni tra il livello inferiore e quello superiore, le analogie tra i due edifici.

Attraverso studi geometrici, metrici e proporzionali si riscontrano in questi volumi dimensioni diverse ma costruiti su figure simili²⁷; inoltre, larghezza e altezza delle due facciate sono tra loro in un rapporto pari al numero aureo. La costruzione del rettangolo aureo e le sue fioriture per passaggi consecutivi identificano lo spazio generale di intervento e quello occupato da ogni componente nell'articolazione della facciata (fig.18). Questa analisi consente di raggiungere un'ampia consapevolezza dello spazio e consente di riprogettare il loggiato ripercorrendo i passi dell'architetto rinascimentale, conoscendo vincoli e problematiche imposti dall'applicazione rigida delle regole del trattato.

Dal confronto tra il modello numerico del rilievo e i modelli archetipo sono scaturite delle considerazioni importanti. Eccezion fatta per l'ordine dorico del Palazzo di Acquasparta, costruito in aderenza alle regole del trattato, tutti gli altri sono sottodimensionati e "retrocessi" di un ordine: le colonne doriche del portico di Cantalupo hanno un'altezza di 14 moduli,

²⁷ Due figure sono simili quando segmenti che congiungono coppie di punti corrispondenti sono nello stesso rapporto.

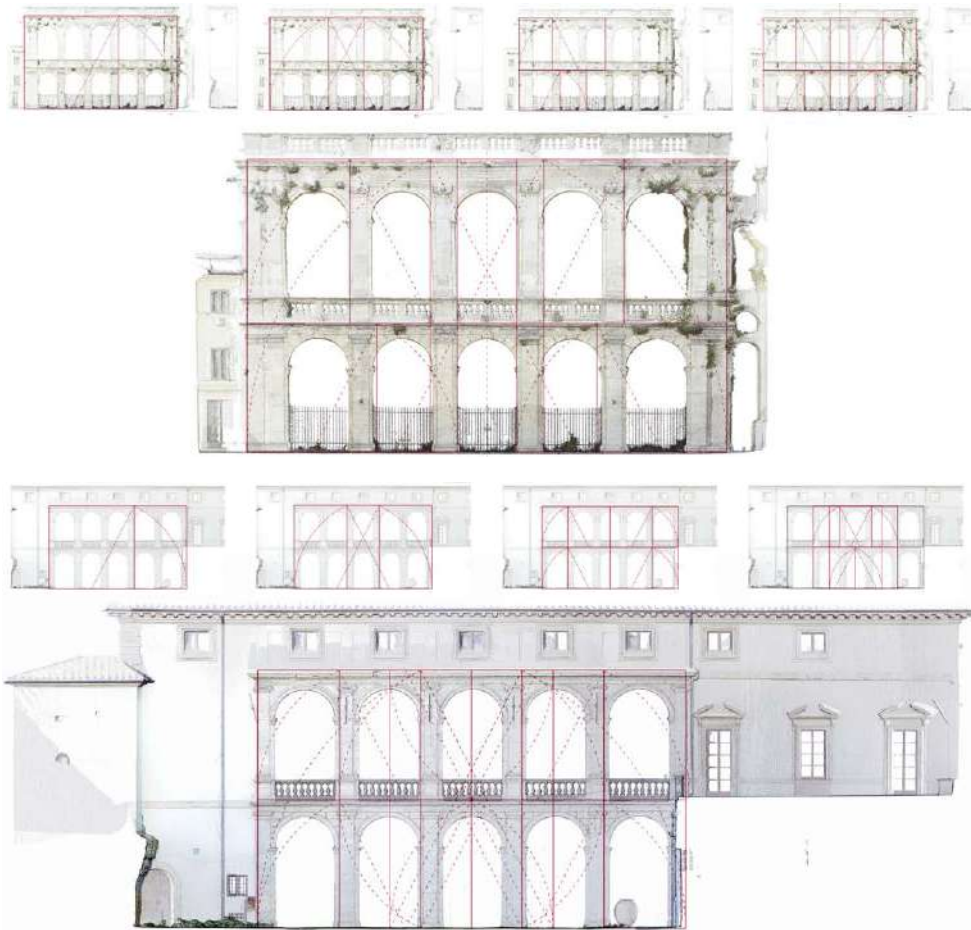
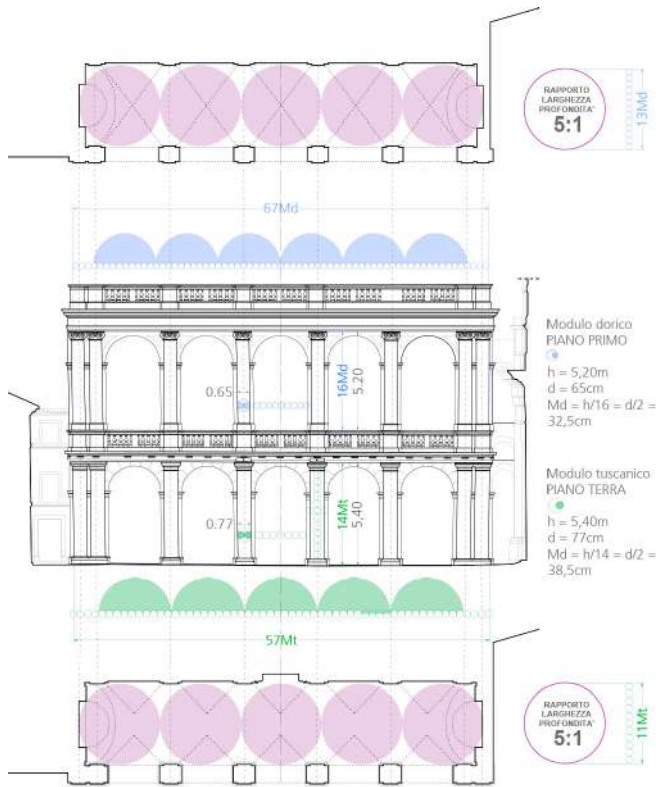


Fig. 18/ Fioriture auree di Palazzo Camuccini (in alto) e di Palazzo Cesi (in basso).

come accade nell'ordine tuscanico; le colonne ioniche dei loggiati di entrambi i palazzi sono alte sedici moduli, come invece dovrebbe essere la colonna dorica (fig.19, fig.20). Inoltre, da un'analisi più approfondita delle componenti degli ordini si nota che le trabeazioni, complete o parziali, sono la manifestazione di questa scelta progettuale: troviamo infatti una cornice tuscanica nel portico di Palazzo Camuccini, che di dorico conserva solo la base e capitello della colonna, e una cornice dorica nel loggiato superiore. L'utilizzo di un componente architettonico di un ordine precedente, insieme all'eliminazione di

2. Sperimentazione

Fig. 19/ Rappresentazione del modello geometrico di Palazzo Camuccini e analisi metrologica-proporzionale.



architrave e fregio, conferma la volontà di recuperare spazio in altezza senza influenzare la larghezza. A valle di queste nuove consapevolezze giova confrontare tra di loro i due edifici. I moduli del piano terra dei due palazzi hanno valori differenti (38,5 cm in Palazzo Camuccini, 33,75 cm in Palazzo Cesi); tuttavia aver riscontrato un'altezza della colonna proporzionata con l'ordine tuscanico (in cui il modulo corrisponde a 1/14 dell'altezza) nel caso di Cantalupo e aver confermato un proporzionamento dorico (in cui il modulo corrisponde a 1/16 dell'altezza) nel caso di Acquasparta, rende particolarmente prossime le dimensioni dei due porticati. L'ordine dorico, coerente con le indicazioni della trattatistica, non risolve l'eccessivo spazio in larghezza, che si recupera passando da un intercolumnio di sette

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

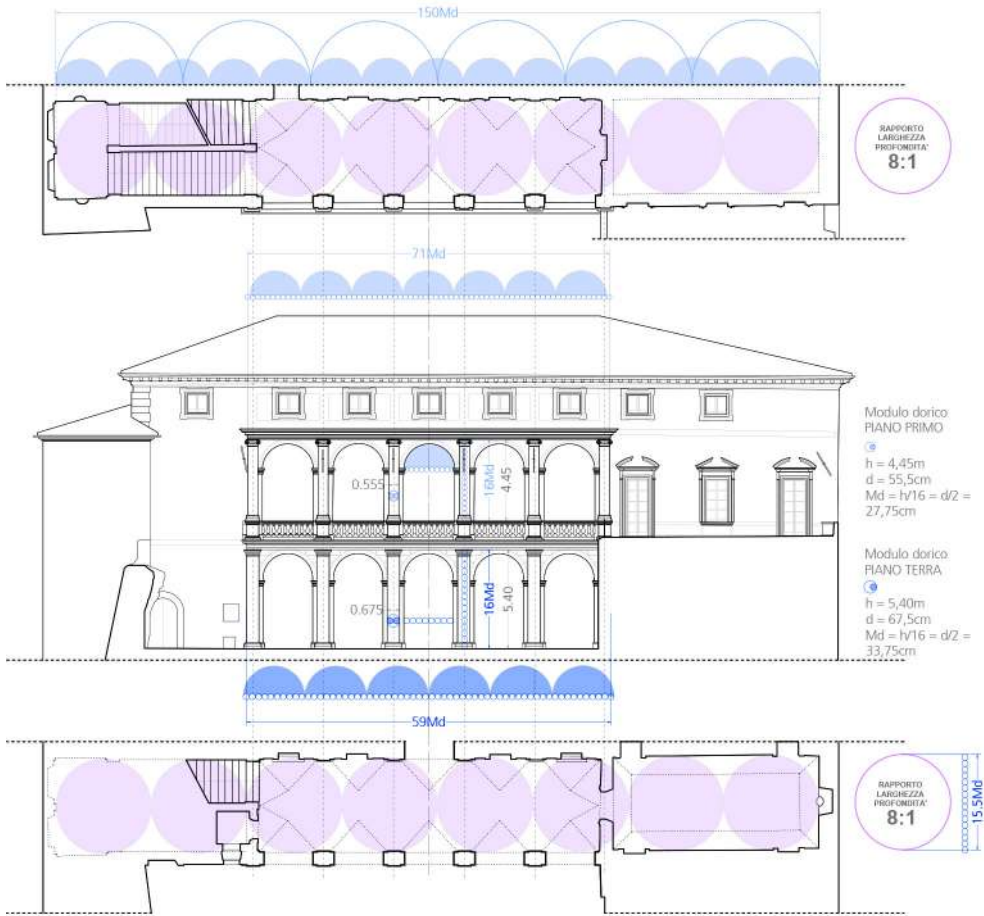


Fig. 20/ Rappresentazione del modello geometrico di Palazzo Cesi e analisi metrologica-proporzionale.

moduli a uno di otto. Così, la larghezza della colonna è la dimensione che risulta tra la parasta, larga due moduli, e l'intercolumnio, largo otto. Similmente, anche per l'ordine ionico, il modulo pari alla semilarghezza della colonna ordina un principio compositivo e proporzionale molto rigoroso, che adatta la configurazione ideale allo spazio reale attraverso l'aggiunta di moduli agli intercolumni, che in questo caso sono dieci. Anche in questo caso, fissata la dimensione di due moduli della parasta e di dieci moduli degli intercolumni, viene definita la larghezza della colonna ionica.

Le analisi condotte si dimostrano necessarie per comprendere le intenzioni progettuali dei due interventi, dimostrandone l'analogia nonostante le differenze degli spazi e delle funzioni dei due edifici, uno di rappresentanza cittadina, l'altro privato e nascosto al pubblico. I dati metrici, le informazioni geometrico-proporzionali, la comprensione delle relazioni tra le componenti e la valutazione dei vincoli imposti dal contesto sono aspetti che non è possibile tralasciare e che solo un'attenta indagine è in grado di fornire.

La costruzione del modello informato

Molte linee di ricerca nel campo dell'HBIM hanno affrontato la trasposizione delle rappresentazioni bidimensionali e su supporto cartaceo della trattatistica rinascimentale in modelli digitali tridimensionali, creando librerie di oggetti sulla base dei rapporti proporzionali degli ordini architettonici descritti nei trattati di Palladio, Vignola, Serlio, ecc. Gli elementi 2D e 3D, attraverso estrusioni su percorso e operazioni booleane, determinano la configurazione generale degli oggetti digitali che si possono adattare a diversi casi di studio tramite la caratterizzazione parametrica dei valori reali desunti dal rilievo. Queste operazioni non sono un mero esercizio di stile; la trascrizione dell'elemento, del profilo, della regola, deve mettere in comunicazione un linguaggio analogico con una sintassi parametrica digitale basandosi su un principio fondamentale. La fedeltà rispetto all'originale è un aspetto sul quale influisce non tanto l'informazione, che lavora sul piano del contenuto, quanto invece la mediazione tra i due linguaggi, che agisce sul piano dell'espressione²⁸. Questa trascrizione è intesa come «operazione mentale, prima ancora che grafica. Ogni trascrizione si connota quale agente di conoscenza, prima e di trasmissione poi. [...] Attraverso la trascrizione, l'architettura diventa

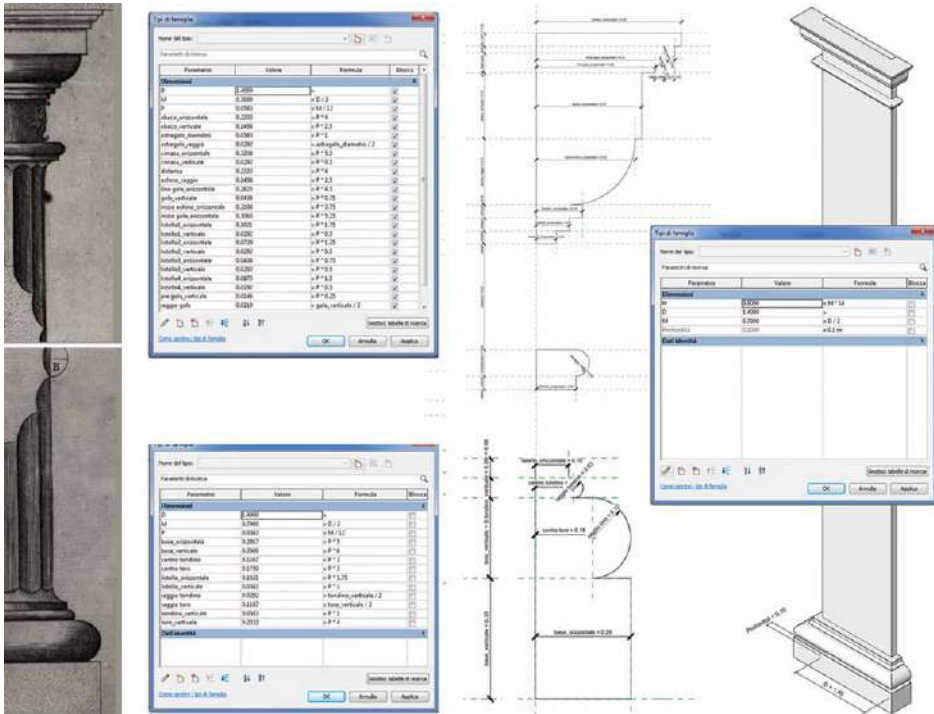
28 Cirafici A. 2011.

oggetto di riformulazione lessicale e sintattica, esito di un leggere critico e del trasporre in altra forma i significati del reale, attraverso un omologo sistema di segni. [...] È così che ogni lavoro di trascrizione non si limita ad una semplice riproduzione, ma si connota di una valenza interpretativa costruita nella dialettica e nella logica rigorosa istituita tra pensiero e rappresentazione, che rilegge il costruito quale sistema complesso di dati correlati a qualità sottese e rese esplicite in astrazioni che vanno oltre il reale»²⁹. In seguito a questa doverosa premessa, proprio perché le modalità di costruzione di profili bidimensionali parametrici sono note nell'ambito dei processi HBIM, non si vuole entrare nel merito delle modalità di costruzione geometrica degli oggetti della libreria caricabile. Si vuole invece stabilire se per la modellazione dei loggiati rinascimentali, compresi quelli realizzati in seguito ad un intervento su una preesistenza, possa esservi una strategia ottimale basata sul riconoscimento delle caratteristiche del tipo architettonico.

Dal punto di vista strutturale, un portico è un sistema puntiforme basato sull'alternarsi del pieno delle colonne e del vuoto lasciato dagli archi. Dal punto di vista della modellazione, però, il sistema costituito da colonne e archi non può essere costruito come il sistema puntiforme di una struttura intelaiata con connessioni tra travi e pilastri. Conoscere e riconoscere il ruolo rivestito del sistema costruttivo, puntuale o lineare, influenza moltissimo le operazioni di costruzione del modello. Nel caso in esame, considerando i due loggiati come innesti in strutture preesistenti in muratura portante, è stato impostato dapprima un volume pieno, successivamente svuotato per ottenere la configurazione della loggia, i corridoi voltati (con diverse sottrazioni ripetute in base alla tipologia di volta, a botte, a crociera o lunettata) e le arcate sul fronte. Sulla base di un

²⁹ Di Luggo A. 2011, pp. 285-286.

2. Sperimentazione



approccio alla modellazione che considera la grande massa piena e procede per operazioni sottrattive consequenziali, la definizione degli elementi di sottrazione si articola per lo più nella combinazione di profili noti dalla geometria e dalle dimensioni variabili, da estrarre lungo percorsi di lunghezza diversa a seconda del caso. Le geometrie da sottrarre sono progettate come oggetti caricabili ma esterni al progetto. Le colonne, in quanto elementi puntuali, vengono anch'esse costruite come famiglie caricabili seguendo note procedure di nidificazione: sulla base della lettura e della scomposizione delle componenti architettoniche, essa si compone di fusto, capitello e base (fig.21). Questi ultimi, sono frutto di una ulteriore nidificazione poiché realizzati tramite profili 2D parametrici estrusi lungo il perimetro definito dalla sezione trasversale del fusto. Queste famiglie, sia bidimensionali che tridimensionali,

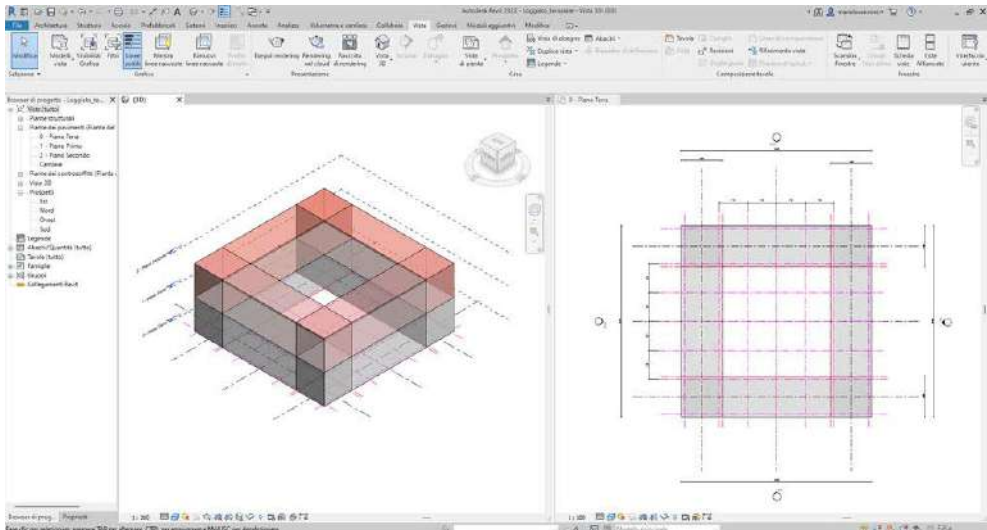
Fig. 21/ Trasposizione delle nidificazioni della trattativa vignolesca in libreria digitale caricabile: famiglia colonna nidificata di fusto, capitello e base.

sono costruite autonomamente l'una dall'altra e si trovano all'interno della libreria dei singoli file. Contemporaneamente, però, sono anche legate le une alle altre grazie ad una progettazione proporzionale basata sulla condivisione parametrica del modulo vignolesco, genericamente definito "M". Il valore numerico reale da assegnare al parametro corrisponde alla semilarghezza della colonna ed è dedotto, per entrambi i palazzi, dall'analisi del dato di rilievo. In questo modo, le singole operazioni di modellazione forniscono la possibilità di ottenere in maniera automatica tutte le possibili configurazioni reali degli ordini classici genericamente definiti come oggetti di libreria.

La modellazione dei loggiati rinascimentali si fonda su elementi pieni ed elementi vuoti che per lo più sono esterni al progetto. Pertanto, la definizione di un *template* rappresentativo di questo tipo architettonico si sviluppa attorno al volume pieno di partenza³⁰ che, se in seguito ad un rilievo è sempre possibile definire in termini geometrici, molto di rado può essere caratterizzato in termini strutturali con informazioni su nuclei e stratigrafie interne. Questi dati non sempre possono essere desunti dallo studio di fonti archivistiche, quindi, a meno di non averne notizia perché in presenza di elementi che mostrino gli strati interni o tramite indagini invasive, informazioni altre rispetto a quelle geometriche e metriche non sono *contemplate* nella definizione del *template*. Le colonne e i volumi sottrattivi costruiti sulla base di multipli e sottomultipli del modulo reale sono posizionati alternando pieno e vuoto con continuità. Di conseguenza, il *template* prevede la possibilità di inserire delle griglie ortogonali per facilitare il posizionamento automatico delle colonne nei nodi, e di piani di riferimento ortogonali che possano rimarcare la simmetria del sistema o semplicemente facilitare la collocazione dei vari vuoti degli archi. Infine

³⁰ Considerando il caso più completo e generale, viene strutturato un *template* con quattro volumi di partenza (otto se si considera il loggiato a due livelli) così da definire un chiostro racchiuso. A necessità, come nei casi studio affrontati nella sperimentazione, nello sviluppo del progetto si eliminano i tre bracci in eccesso per procedere alla lavorazione di un singolo fronte.

2. Sperimentazione

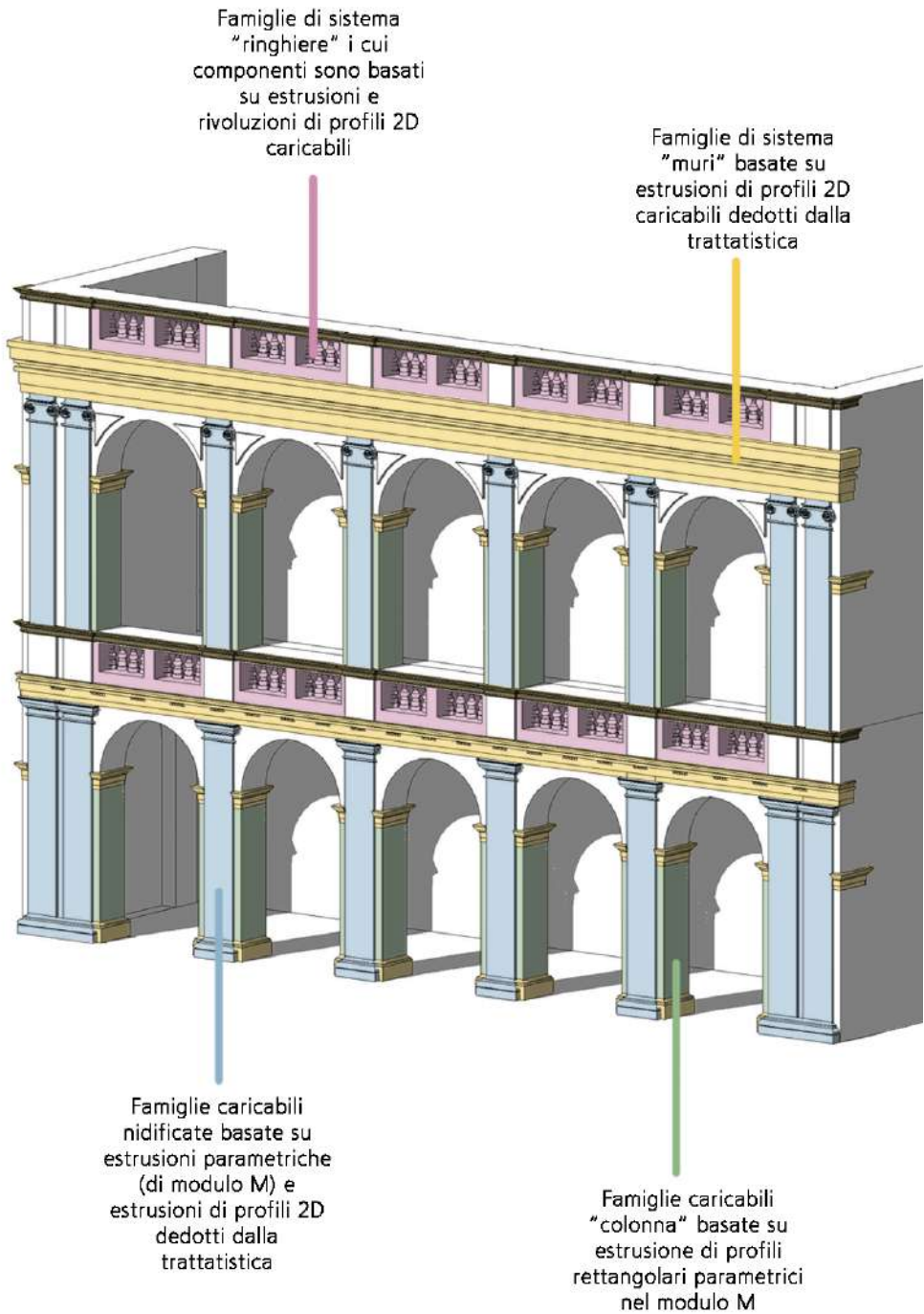


si prevede l'inserimento di almeno tre livelli per la realizzazione di un loggiato a due ordini: il primo e il secondo livello vengono usati per sviluppare i portici, il secondo e il terzo livello per costruire le logge (fig.22). Ciò che rimane dei volumi pieni di partenza, in seguito alle varie operazioni di sottrazione, rappresenta la massa reale al netto dei rivestimenti delle strutture del loggiato (fig.23, fig.24). Attraverso il software³¹ è stata assegnata come categoria funzionale al volume inferiore quella del solaio di pavimento, e al volume superiore quella del solaio di copertura, nonostante non si disponga al momento della costruzione del modello di alcuna informazione in merito a stratigrafie e materiali. Tali informazioni sono, per la natura stessa dei processi HBIM, implementabili nel progetto in qualsiasi momento, con l'unica accortezza di procedere al termine della modellazione all'aggiornamento del file di *template*. Le linee guida e gli elementi di modello presenti nel *template* sono in prima istanza riferiti ad una disciplina architettonica, tuttavia ciò non esclude la possibilità per tutte le discipline coinvolte nel processo di modellazione di operare attraverso

Fig. 22/ Impostazione generale del *template* dei loggiati rinascimentali.

³¹ Autodesk Revit, versione 2022. Si sottolinea in questa sede quanto la scelta di uno software Authoring BIM piuttosto che un altro sia assolutamente influente in relazione all'applicabilità della procedura.

2. Sperimentazione



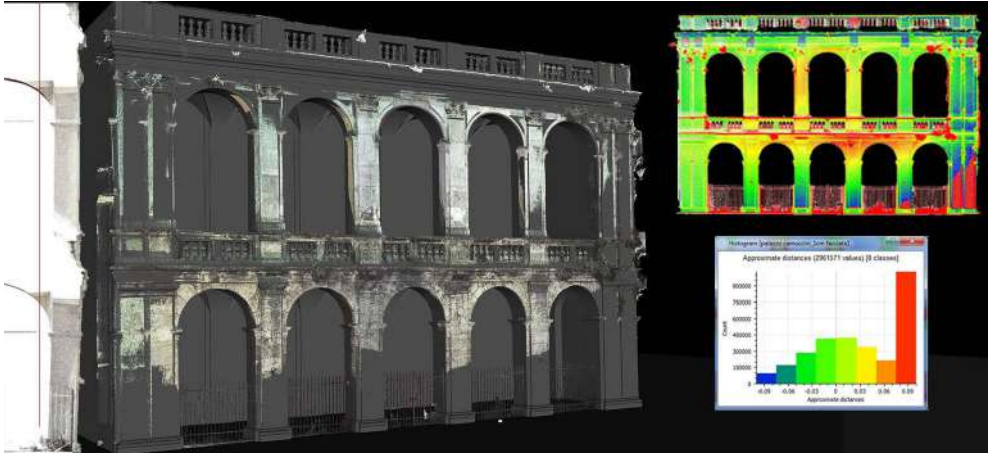
HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 23/ A p.150 adattamento dei volumi del *template* alle dimensioni del caso di studio e procedure di taglio.

Fig. 24/ Alla pagina precedente, completamento della modellazione attraverso l'utilizzo di famiglie caricabili e famiglie di sistema basate su famiglie caricabili.

strumenti dedicati di cui, in una fase preliminare di organizzazione del proto-modello non è possibile prevedere l'utilità. *Template* e libreria sono stati organizzati parallelamente ma la costruzione degli oggetti puntuali è stata maggiormente onerosa. La costruzione delle famiglie dei profili 2D ha riguardato sia gli elementi descritti nel trattato, per poter costruire i modelli archetipi, sia i profili degli elementi propriamente realizzati adattandosi al contesto. In questo caso, il riferimento teorico è la *Regola delli cinque ordini di architettura* di Vignola, per le ragioni precedentemente citate di vicinanza temporale e locale, e della commistione tra maestranze e proprietari. Vale la pena però aggiungere a tali motivazioni alcune riflessioni che prescindono dai casi di studio e si concentrano invece sulle modalità di progettazione parametrica dei modelli. La maggioranza dei trattati di architettura segue pedissequamente la procedura vitruviana di tipo diacronico, che consiste nel ricavare ogni dimensione da quelle che precedono, per divisioni successive³². Questo criterio, particolarmente vicino alle esigenze del disegno, sembra essere altrettanto adatto all'analisi del rilievo e alla modellazione digitale. Considerare sempre l'insieme, prima le grandi masse, poi quelle minori, ha permesso di scoprire le fioriture auree che governano l'organizzazione dei fronti dei due palazzi. Inoltre, è Vignola a costruire una regola semplice e universale, svincolata dall'utilizzo del modulo così come lo aveva annunciato Vitruvio. Egli esprime in principio le dimensioni totali dell'ordine attraverso la proporzione 4:12:3 – piedistallo, colonna e trabeazione – procedendo in maniera sincronica, secondo una logica numerica e additiva per multipli e sottomultipli. Il vantaggio di questa regola, che ne consente la piena trasposizione nel processo dell'HBIM, sta nel fatto che il modulo non è più soltanto rappresentativo di una proporzione tra le parti, bensì utilizzato come unità di

³² Migliari R. 1991, p.50



misura assoluta, svincolata da qualunque sistema locale e da qualunque processo reiterato di suddivisione. Sulla base dei rispettivi profili bidimensionali parametrici, costruiti pedissequamente al riferimento teorico o modellati in base alle scelte strategiche progettuali e dei moduli dedotti dal rilievo, vengono costruiti i modelli dei loggiati dei due palazzi. Al fine di rendere efficaci ed affidabili i modelli realizzati risulta opportuno operare una verifica finale che misuri lo scarto tra il modello parametrico e quello numerico da rilievo. In particolare, il modello di Palazzo Cesi ha riportato una aderenza al caso reale per geometrie e misure nell'ordine del centimetro. Il Palazzo di Cantalupo, invece, versa in uno stato di dissesto statico con le componenti di facciata che visibilmente si discostano da piani ideali, condizioni che hanno determinato l'inaccessibilità ai vari locali rendendone difficoltoso il rilievo. In questo caso, dall'analisi della nuvola di punti è stato possibile determinare e localizzare deviazioni tra i due modelli nell'ordine del decimetro (fig.255).

Fig. 25/ A sinistra: sezione trasversale della nuvola di punti per la visualizzazione dello spanciamento degli elementi sul fronte; al centro: sovrapposizione tra il modello parametrico e quello numerico; a destra: misura della deviazione tra i due modelli.

Il razionalismo Italiano nella Città Universitaria di Roma

Prima ancora che di singoli progettisti e di edifici costruiti, la storia del razionalismo italiano è fatta

di raggruppamenti, di movimenti, di esposizioni e di riviste. La creazione del Gruppo 7, nel 1926, segna l'avvio di una stagione che, da un lato, tesse un rapporto complesso con la sperimentazione tecnica, tipologica ed estetica delle avanguardie europee; dall'altro, esprime le esigenze di autorappresentazione del regime fascista³³. Gli scritti del Gruppo 7 mettono in campo alcuni dei temi fondamentali che accomunano la riflessione teorica e l'opera costruita di tutti gli esponenti del razionalismo italiano: la tensione verso un'architettura "nuova", che prenda atto dell'esistenza di nuove tecnologie, come il cemento armato, e che partecipi alla costruzione di una nuova società; le influenze del modernismo europeo, in particolare di Le Corbusier, Walter Gropius, Mies van der Rohe; la volontà, al tempo stesso, di mettere in discussione il valore assoluto di questi modelli e l'interesse a declinarli in chiave locale e nazionale. Dalla fine degli anni Venti, e più intensamente all'inizio del decennio successivo, le architetture razionaliste cominciano a proliferare nelle principali città italiane, rappresentando le antitetiche tendenze che attraversano tutta l'esperienza del razionalismo italiano: la ricerca del moderno in continuità con il passato e gli ideali di rinnovamento sociale nella realtà del regime totalitario³⁴. Il Novocomum (1927-1929) e la Casa del Fascio (1932-1936) di Giuseppe Terragni, la Casa elettrica di Figini e Pollini (1930), la Stazione di Santa Maria Novella di Giovanni Michelucci (1932-1934), la Casa delle armi al Foro Mussolini (1933-1936) di Luigi Moretti, il Palazzo delle poste (1933-1935) di Adalberto Libera e Mario De Renzi e quello di Mario Ridolfi (1932-1935) a Roma, quello di Giuseppe Vaccaro (1933-1936) a Napoli, sono architetture che, pur nelle loro specificità e differenze, si contrappongono ai caratteri accademici e storicisti che denotano, in un primo momento, le opere del regime. A partire dalla metà degli anni Trenta,

³³ Benevolo L. 1960.

³⁴ Rossi P. O. 2012.

l'architettura fascista rinnega i suoi legami con il razionalismo, scegliendo di identificarsi non con il classicismo astratto di Terragni, quanto più con la monumentalità di derivazione romana esibita dagli edifici di Marcello Piacentini³⁵. Non è un caso, quindi, se proprio a Piacentini viene affidato dal Duce il compito di progettare la nuova Università di Roma, pensata per essere il maggiore centro di studi dell'Italia e del Mediterraneo.

La Città Universitaria di Roma, realizzata tra il 1932 e il 1935, si afferma, sia dal punto di vista organizzativo e tecnico, sia dal punto di vista storico-artistico, come una delle tappe più significative dello sviluppo architettonico italiano moderno³⁶ (fig.26). Essa si presenta, da un lato, come manifesto del regime; dall'altro come terreno di sperimentazione di quell'aggiornamento tecnologico che aveva investito l'Italia già dal secolo precedente con lo sviluppo del cemento armato e la ricerca sui materiali costruttivi incentivati dalla produzione industriale nel settore della metallurgia, del vetro e dei laterizi. La lettera che ufficializza l'incarico assegnato da Mussolini a Piacentini delinea il programma di realizzazione della Città Universitaria, definendo «il piano generale [...] stabilendo l'ubicazione, la disposizione, le misure generali e il coordinamento fra i vari edifici e di fornire ai vari architetti i criteri generali da seguire nella progettazione delle singole facoltà»³⁷. Piacentini sceglie per la progettazione giovani architetti, tra i migliori in Italia, Pietro Aschieri, Gino Capponi, Arnaldo Foschini, Giovanni Michelucci, Giuseppe Pagano, Gio Ponti, Gaetano Rapisardi e Giuseppe Vaccaro, rispondendo così alla volontà del Duce di rendere la nuova Università di Roma la migliore espressione del genio architettonico e costruttivo italiano dell'era fascista. L'esigenza di concludere la realizzazione dell'intero complesso in tre anni, un tempo relativamente breve rispetto a tutto il lavoro, ha imposto di

³⁵ De Seta C. 1972.

³⁶ Azzaro B. 2012.

³⁷ Ciucci G. 2012, p.217.

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 26/ Nuvola di punti della Città Universitaria derivante da acquisizione tramite UAV. Vista verso il Rettorato (in alto), vista verso i Propilei di ingresso (al centro), vista verso la Cappella della Divina Sapienza e l'Edificio di Fisica (in basso).



provvedere ad un'organizzazione perfetta. Il primo problema che Piacentini affronta, come direttore dei lavori prima che come capo degli architetti, è l'istituzione di un ufficio tecnico, che ha curato, ol-

tre l'impostazione generale, ogni progetto nel minimo dettaglio. Numerose sono le relazioni con cui l'ufficio tecnico testimonia importanti viaggi all'estero finalizzati ad analizzare i principali complessi universitari moderni, perché alle esigenze particolari dell'insegnamento corrispondessero i più perfetti sistemi costruttivi e i più moderni servizi. In linea con moderni principi dell'insegnamento e i continui progressi della ricerca scientifica, l'impostazione degli edifici avrebbe dovuto includere grandi spazi luminosi, prevedendo eventuali ampliamenti, attrezzature specializzate, biblioteche e laboratori per il lavoro collettivo, aule per seminari ed esercitazioni.

Sotto l'aspetto urbanistico, la composizione dello spazio non riprende né i raggruppamenti degli edifici di Madrid, né la disposizione lineare di molti esempi europei, ma sviluppa il tema antichissimo e tipicamente italiano di comporre una piazza definita volumetricamente dalle costruzioni. La forma poligonale dell'area assegnata ha permesso di disporre planimetricamente un insieme raccolto e ordinato di edifici (fig.27). I riferimenti sono quelli delle grandi piazze romane, piazza San Pietro e piazza del Popolo, per citarne alcune, che nascono da un ordinamento planimetrico simmetrico ma in cui i singoli edifici assumono una forma caratteristica, adeguata alla loro funzione³⁸. Ciascun edificio esprime la sua ragione estetica e funzionale nella distribuzione delle masse costruttive e nell'applicazione dei materiali di rivestimento, eliminando ogni forma di decorazione, ritenuta superflua.

Sotto l'aspetto architettonico, Piacentini affida ogni edificio ad un progettista, lasciando per sé il più importante, il Rettorato. L'ufficio tecnico ha rivestito un ruolo fondamentale³⁹, propedeutico alla progettazione dei singoli manufatti, occupandosi della scelta dei materiali – per le strutture, la muratura e il cemento armato, per i rivestimenti esterni

³⁸ Piacentini M. 1935.

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 27/ La Città Universitaria di Roma, planimetria.



delle facciate, prevalentemente mattoni e travertino – dell’analisi dei prezzi⁴⁰, dell’organizzazione delle fasi esecutive della progettazione, compreso lo sviluppo degli elaborati tecnici e dei particolari costruttivi. Oggetto di importanti approfondimenti sono stati, a livello urbano, il sistema fognario, l’illuminazione delle strade, i giardini e il loro sistema di innaffiamento, le recinzioni; a livello architettonico, invece, i sistemi di fondazione, l’acustica, i sistemi di riscaldamento, di ventilazione e di isolamento, gli impianti, gli infissi e l’arredamento delle aule. Seguendo le impostazioni stabilite, gli edifici di Ortopedia, Igiene, Fisica, Lettere e Giurisprudenza sono stati realizzati con una struttura in muratura, quelli di Botanica, Matematica, Mineralogia e Geologia, Biologia e il Rettorato, con intelaiatura in cemento armato. Il sistema di fondazione prevalentemente utilizzato è costituito dai pali simplex: essi sostengono gli edifici di Giurisprudenza, Lettere, Igiene, Fisica, Chimica e Matematica, necessitando in alcuni

³⁹ Guidi F. 1935.

⁴⁰ Di particolare importanza è l’Elenco dei prezzi di opere e materiali da costruzione del 1933, in cui l’ufficio tecnico pubblica una tariffa che comprende numerose lavorazioni e il costo di materiali non ancora di uso comune, risultando uno dei documenti più aggiornati a livello nazionale.

casi di un maggior rinforzo attraverso i pali duplex o triplex; il sistema a pozzi è stato usato per Ortopedia, Mineralogia, Biologia e Botanica; la platea di calcestruzzo, invece, per la Caserma della Milizia Universitaria e la centrale termica. Gli impianti, soprattutto negli edifici scientifici, passano nelle spessore dei muri, pur rimanendo facilmente accessibili. Gli infissi, prevalentemente di tipo a ghigliottina e a vasistas, sono realizzati in legno e in ferro, preferendo il legno negli istituti scientifici, perché sarebbe stato danneggiato meno dai fumi causati da eventuali reazioni chimiche, e il riservando il ferro alle vetrate di dimensioni notevoli, come nel caso dell'Istituto di Botanica e di Biologia; talvolta, gli infissi venivano rivestiti in bronzo, come nel caso del Rettorato e degli edifici di Lettere e Giurisprudenza. Le porte interne sono generalmente in legno di abete con specchi di compensato e verniciate; i pavimenti per la maggior parte in marmette o in linoleum; per i rivestimenti esterni è stato usato un intonaco molto resistente agli agenti atmosferici, per quelli interni una vernice rugosa che unisce ai requisiti di durezza ed elasticità quelli di lavaggio e basso costo.

Ogni aspetto della progettazione, con le dovute eccezioni legate alla creatività del singolo e delle soluzioni adottate in casi particolari, segue regole precise, traducendo in realtà le concezioni dei diversi progettisti senza uscire dai limiti, temporali ed economici, imposti. Il razionalismo delle scelte diventa, allora, una questione di metodo prima ancora che di linguaggio espressivo.

L'Istituto di Botanica

L'Istituto di Botanica rappresenta, insieme all'Edificio per la Scuola di Matematica di Gio Ponti, l'edificio più raffinato e luminoso tra tutti quelli della Città Universitaria di Roma⁴¹. Giuseppe Capponi prese in carico la sua progettazione considerando immediatamente



Fig. 28/ L'Istituto di Botanica nella Città Universitaria di Roma, planimetria.

l'impostazione planimetrica dell'impianto dell'intero complesso universitario, impostato su assi ortogonali e su un assetto gerarchico, in cui gli spazi sono reciprocamente connessi secondo la loro importanza⁴² (fig.28). A questo proposito, alcuni storici sottolineano come Capponi considerò marginale la condizione riservata all'edificio assegnatogli: esso sarebbe stato collocato nella parte retrostante il Rettorato, per cui avrebbe avuto sicuramente minore importanza rispetto alle altre costruzioni⁴³. In effetti, in tutta la parte a sud che lo precede, la struttura è impostata su un asse centrale a cui vengono riferite sia le singole unità architettoniche, sia il trattamento degli spazi esterni; alle sue spalle, invece, lo spazio vuoto è delimitato solo dai due edifici di Fisiologia e di Botanica. Tuttavia, Capponi cerca di contrastare questa condizione marginale proponendo un edificio con una freschezza espressiva superiore a quella delle compatte costruzioni realizzate dai suoi colleghi, esprimendo la sua ricerca architettonica attraverso la «partecipazione della luce e dell'atmosfera, solidificate in masse e volumi»⁴⁴.

Inizialmente, il progetto avrebbe dovuto includere la nuova sede dell'Istituto di Zoologia; tuttavia, motivi economici spinsero ad apportare miglioramenti alla sede già occupata da Zoologia e a comprendere invece un altro istituto, quello di Chimica Farmaceutica, precedentemente previsto come edificio a sè, occupando circa 2800 m quadrati e ospitando al suo interno più di duecento ambienti destinati ad aule, laboratori e locali di servizio. Caratterizzato da un corpo centrale a pianta curva con due ali anteriori⁴⁵, si distingue principalmente per la presenza delle torri vetrate (fig.29). Nel progetto originario, quelle rivolte verso nord, situate sul fronte principale, erano destinate ad ospitare musei ed erbari; quelle verso sud, invece, contenevano i due vestiboli e la scala, che assume un ruolo compositivo preminente asse-

⁴¹ Accasto, Fraticelli, Nicolini riconoscono che «Gli unici edifici che conservino qualità distintive e comunicative sono quelli di Capponi e di Ponti: opere non scomode teoricamente, per la matrice purista-modernista che nella simmetria e nella gerarchia topologica è possibile rintracciare e contrapporre al "razionalismo ortodosso", ma certo contraddittorie, in concreto, all'esito complessivo della Città Universitaria» (Accasto G. Fraticelli V. Nicolini R.1971).

⁴² Cortese P., Sacco I. 1991.

⁴³ Mitrano I. 2013.

⁴⁴ Argan C. G. 1949, p.196.

2. Sperimentazione

Fig. 29/ L'Istituto di Botanica nella Città Universitaria di Roma.



condando la verticalità dell'edificio e sviluppandosi all'interno di piccole serre sperimentali. I due corpi longitudinali curvilinei ospitavano rispettivamente le aule e i servizi di Botanica e Chimica Farmaceutica; fra le due ali si trovava un grande atrio, adorno di piante, e con al centro una grande vasca d'acqua. La facciata posteriore accoglieva grandi serre⁴⁶ (fig.30), costituendo così il basamento di vetro del fabbricato rivolto verso un vasto orto botanico. Le due ali, a destra e a sinistra del corpo centrale destinato a studi e alle biblioteche, ospitavano aule e servizi indipendenti rispetto al corpo centrale (fig.31).

45 L'idea di impostare l'edificio con un corpo centrale e due ali laterali nasce probabilmente dall'ispirazione ricevuta durante i viaggi in Europa. Nella relazione *Osservazioni ed appunti su alcuni impianti di serre esistenti presso Istituti Botanici in Germania* del 19 marzo 1935, Capponi riporta i dati raccolti negli Orti Botanici di Dahlem e alcuni schizzi illustrativi che dimostrano l'interesse verso strutture caratterizzate da un elemento centrale e due corpi laterali, sebbene inseriti in un contesto totalmente diverso.

L'ossatura della struttura è in cemento armato, mentre le facciate alternano un rivestimento in lastre in travertino romano ad una cortina di mattoncini in litoceramica color bruno (fig.32), scelti per sia per rispondere a necessità di tipo estetico, ma soprattutto per ridurre al minimo le spese⁴⁷. Nonostante quest'ultima esigenza, i mattoncini in litoceramica sono stati applicati seguendo soluzioni molto interessanti per risolvere il problema degli spigoli attraverso la particolare disposizione dei pezzi. Di notevole pregio sono i pilastri disposti longitudinalmente tra le finestre, realizzati in mattoni di vetro, e la struttura impiegata per le torri, le cui vetrature sono appese, piano per piano, alle solette. Questo sistema ha permesso di realizzare una "facciata continua", in cui non ci sono pilastri a sostenere la struttura degli angoli vetrati, proprio perché l'intelaiatura in ferro è legata ai solai che, perfettamente coincidenti con la scansione del telaio, non vengono percepiti dall'esterno (fig.33). L'utilizzo del ferro e del vetro nel corpo centrale costituiva una soluzione nuova non solo per ragioni strutturali e tecnologiche, ma rispetto alla consapevolezza del valore architettonico dell'edificio, esaltato dall'introduzione di un sistema per l'accrescimento dell'efficienza energetica passiva. Le serre solari e i camini di ventilazione sviluppati nelle torri del vento, che inquadrano l'ingresso dal lato posteriore dell'edificio, favorivano la ventilazione, il raffrescamento passivo e il rinnovo dell'aria negli ambienti interni, in cui l'aria, immessa dall'esterno, avrebbe dovuto essere purificata dalle piante delle serre. Altre particolari applicazioni riguardavano la scelta degli intonaci acustici di pomice utilizzati per il rivestimento delle aule, i solai leggeri di cemento armato su cassette o tavelloni di rete metallica, le grandi pensiline in vetro-cemento, e anche gli arredi, realizzati in base ai criteri di semplicità e funzionalità, mediante l'impiego di legno e metallo.

⁴⁶ Muntoni A. 2010, p.71.

⁴⁷ L'utilizzo di superfici curve e di volumi aggettanti, l'alternanza materica e la scansione dello spazio secondo rapporti cromatici costituiscono un carattere distintivo delle opere di Capponi che si ritrovano anche nei progetti per la palazzina sul Lungotevere Arnaldo da Brescia a Roma (1927) e la villa Nervi e Nebbiosi a Capri (1928).



HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 30/ Alla pagina precedente in alto, le torri vetrate della facciata esposta a sud (pagina precedente).

Fig. 31/ Alla pagina precedente in basso, la biblioteca.

Fig. 32/ In alto, dettaglio dei materiali impiegati.

Fig. 33/ In basso, dettaglio delle torri vetrate della facciata esposta a nord.



Dal 1962, in seguito al trasferimento dell'Istituto di Chimica Farmaceutica in una nuova struttura realizzata accanto alla Scuola di Matematica, l'edificio ha subito alcune variazioni distributive interne di lieve entità, che non ne hanno compromesso l'impostazione formale. Tuttavia, il confronto tra il progetto originario e lo stato attuale appare comunque piuttosto sconcertante: l'orto botanico posto di fronte la facciata contenente le serre non esiste più, il dispositivo della serra solare e dei camini di ventilazione non è più funzionante, all'interno dei camini di ventilazione sono stati realizzati dei solai per ricavare



ulteriori spazi, mentre le serre sul fronte posteriore sono state abbandonate e trasformate da uno spazio aperto e luminoso ad uno spazio chiuso e articolato in laboratori e aule con costruzione di solai e tamponature interne.

La realizzazione di una struttura prefabbricata, collocata nel 1969 nella zona antistante la scalinata di ingresso (fig.34), che contiene le cosiddette "aule blu" e alcuni ambienti al piano seminterrato, risulta totalmente incoerente con il contesto architettonico di cui fa parte, interrompendo la simmetria e l'eleganza della bicromia del marmo e del travertino, nascondendo e snaturando la visuale prospettica dell'edificio.

Fig. 34/ La struttura prefabbricata delle "aule blu" posta di fronte al prospetto di ingresso.

La Scuola di Matematica

La Scuola di Matematica è senza dubbio l'edificio che, nell'intero complesso della Città Universitaria, si distingue maggiormente per la sua autonomia stilistica e formale. Così come chi l'ha progettata, Gio



Fig. 35/ La Scuola di matematica nella Città Universitaria di Roma, planimetria.

Ponti, si distingue tra gli architetti per la sua autonoma estrazione: non appartiene, infatti, né al gruppo di Piacentini, come Foschini e Rapisardi, né al MIAR, come tutti gli altri, e non aderisce neanche ai movimenti innovativi che caratterizzano l'ambiente milanese in cui è cresciuto. In linea con il suo concetto di architettura e con la sua produzione, la Scuola di Matematica interpreta con freschezza il concetto di modernità. Contrariamente agli edifici dell'intero complesso universitario, principalmente articolati in volumi quadrangolari e impostati dando importanza alla vista delle piazze e dei viali, la Scuola di Matematica è caratterizzata da un impianto curvo e «richiuso su sé stesso»⁴⁸. L'edificio affaccia sulla piazza principale della Città Universitaria ed è situato sull'asse trasversale del transetto dello schema basilicale ideato da Piacentini, in relazione diretta sia con il Rettorato, che si trova alla sua sinistra, e con l'edificio di Geologia e Mineralogia che, seppur collocato dal lato opposto, si connette alla Scuola di Matematica per mezzo di un'ampia visuale (fig.35). Occupa una superficie di 3600 metri quadri e comprende oltre centocinquanta ambienti che, oltre ad essere destinati all'insegnamento della matematica pura, includevano anche gli insegnamenti di preparazione alla Scuola di Ingegneria, e quelli annessi alla Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali. La struttura, completamente simmetrica, è costituita da due blocchi distinti, un corpo anteriore a pianta rettangolare e uno posteriore, un settore cilindrico di notevole altezza, raccordati da due ali curve che delimitano la corte interna. Il progetto originario di Gio Ponti prevedeva, nel volume principale, una parte anteriore dedicata all'atrio di ingresso e a tre aule e una parte posteriore con un lungo corridoio che affacciava verso la corte. Al primo piano gli studi dei professori, al secondo la biblioteca e le sale di lettura; ai piani successivi, presenti solo sul retro, il

⁴⁸ Barattelli G. 2019.

deposito dei libri. I corpi curvilinei, articolati su due piani, contenevano le aule da disegno ed un lungo corridoio, anch'esso con affaccio verso il cortile. Il volume posteriore, la porzione cilindrica detta "torre delle aule", ospitava su tre livelli altrettante aule gradonate. L'articolata composizione esprimeva un programma funzionale molto denso non solo nella ricerca di forme e nella giustapposizione dei volumi, ma anche nella scelta dei materiali che rivestono la struttura in cemento armato. Il blocco principale, alleggerito dal taglio della grande vetrata, appare come un imponente volume in lastre quadrate di travertino disposte "a sorella", non utilizzando i tradizionali giunti sfalsati, ma allineate in modo moderno, in orizzontale e in verticale (fig.36, fig.37). La stessa modalità viene utilizzata per il le pareti interne dell'atrio, tre rivestite in lastre di marmo di Carrara disposte con un'inclinazione di 45°, una in lastre rettangolari di marmo nero, richiamando gli esterni sia nel criterio di applicazione del rivestimento, sia per i contrasti cromatici e materici (fig.38). La facciata rivolta verso la corte interna è rivestita interamente in mattoncini di litoceramica che mimano l'apparecchiatura tipica di una muratura portante mediante le piattabande sovrastanti le aperture; l'unica eccezione è costituita dal vano centrale che ospita il portale d'ingresso al cortile, incorniciato da lastre di marmo (fig.39). La semplice finitura ad intonaco, invece, viene utilizzata per le due ali curvilinee e per la moderna torre delle aule, facendo prevalere così il loro aspetto funzionale (fig.40). Particolare attenzione è rivolta al progetto della vetrata realizzata da Fontana Arte su disegno di Ponti, che si estendeva dalla biblioteca al piano primo, e alla configurazione strutturale della torre delle aule. Il sistema costruttivo, concepito insieme agli ingegneri Zadra e Minnucci, è stato studiato per accogliere ampie aule progettate per 450 studenti,



2. Sperimentazione



Fig. 36/ La disposizione "a sorella" delle lastre in travertino della facciata principale.

Fig. 37/ Dettaglio della disposizione "a sorella" delle lastre in travertino della facciata principale.

Fig. 38/ L'atrio del piano terra.



HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 39/ La controfacciata del corpo principale rivolta verso il cortile.

Fig. 40/ I volumi del corpo scala e le ali laterali.





sovrapposte su tre livelli. La copertura curva delle aule, composta da sette portali in cemento armato con travi disposte radialmente⁴⁹, è inserita nello spazio sottostante i gradini dell'aula del piano superiore. L'innovazione strutturale, realizzata tramite un sistema a telaio che copre una luce di 17 m senza appoggi intermedi, risponde contemporaneamente alle esigenze acustiche e all'estetica della modernità, il cui valore è esaltato dal soffitto ribassato che, con la superficie curva, avvolge lo spazio (fig.41). All'interno di queste aule il sistema di arredo fisso costituito dalla pedana, dalla cattedra e dalla lavagna (fig.42), mostra la particolare sensibilità di un architetto molto attento sia ai dettagli (fig.43), sia alla funzionalità degli ambienti⁵⁰; la stessa cura si ritrova nella progettazione dei tavoli della biblioteca, che integrano all'area adibita alla lettura lo spazio per l'esposizione delle riviste.

Sebbene lo schema planimetrico e volumetrico dell'edificio rimanga sostanzialmente quello originale,

Fig. 41/ L'aula a ventaglio del piano terra.

⁴⁹ Barattelli G. 2019.

⁵⁰ Bardati F. 2013.

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

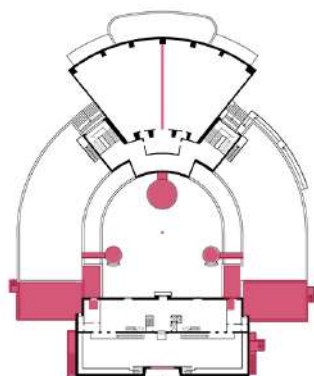
Fig. 42/ Il sistema di arredo delle aule a ventaglio.

Fig. 43/ Il sistema di arredo delle aule al piano terra.

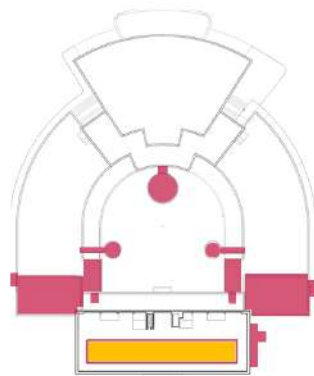


il percorso progettuale con cui si giunge all'assetto odierno non è stato esente da variazioni (fig.44). Le prime trasformazioni risalgono al 1939 quando, con la creazione dell'Istituto Nazionale di Alta Matematica emerge la necessità di realizzare altri uffici, a discapito di una delle grandi aule da disegno del primo piano, suddivisa in vari ambienti. Altre sono state causate dai bombardamenti aerei del 1943 che hanno distrutto completamente la vetrata istoriata, mai ripristinata ma sostituita da un vetro semplice. Altre ancora, tra gli anni Cinquanta e Sessanta, hanno riguardato cambiamenti nella distribuzione interna e la tamponatura della parte del solaio della biblioteca che consentiva di affacciarsi sull'aula dei docenti al piano primo, peraltro visibile oggi dall'esterno, attraverso il vetro (fig.45). Di particolare importanza è la costruzione, avviata nel 1974 e terminata negli anni Ottanta, di due volumi posti ai lati del corpo centrale e in continuità con le ali curvilinee. Questo intervento ha determinato un forte cambiamento nella percezione della continuità volumetrica dell'edificio, precedentemente identificato dalla giustapposizione di corpi separati. Sempre degli anni Ottanta sono le significative suddivisioni delle aule da disegno rimaste integre e la divisione della grande aula gradonata del primo piano, ritenuta di dimensioni eccessive dopo lo spostamento degli insegnamenti di Ingegneria in altre sedi. Particolarmente infelici appaiono le tre ingombranti scale antincendio collocate nel cortile nel 1985 (fig.46), la cui eleganza è stata minata anche dal rifacimento del pavimento, in cui le lastre di travertino disposte ad opus incertum con l'erba tra gli interstizi sono state giuntate tramite stucature in cemento. L'identità del progetto originario della Scuola di Matematica appare oggi completamente snaturata. La tamponatura delle aule da disegno ha alterato completamente la percezione dello spazio e il rapporto

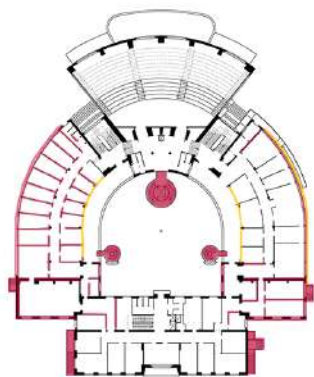
HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico



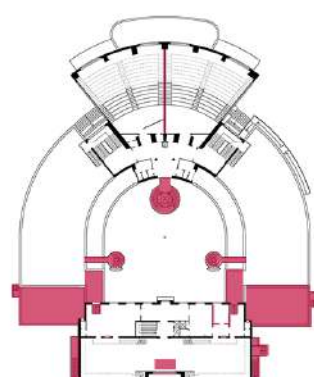
piano terzo



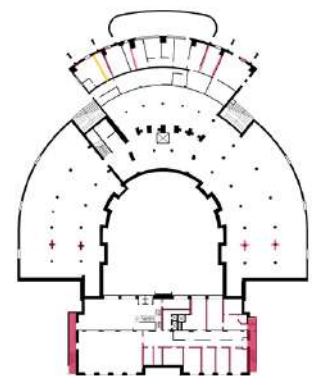
copertura



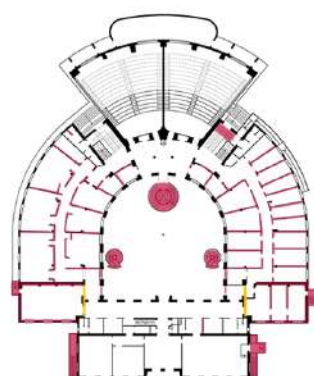
piano primo



piano secondo



piano seminterrato



piano terra

2. Sperimentazione



Fig. 44/ Sintesi delle trasformazioni subite dalla Scuola di Matematica dal 1939 al 2021. In giallo le demolizioni, in rosso le ricostruzioni e le aggiunte.

Fig. 45/ L'aula dei professori al piano primo, oggi chiamata "aula Ponti".

Fig. 46/ Le scale antincendio del cortile costruite nel 1985.



tra l'edificio, la corte e l'ambiente esterno: nel progetto originario, il corridoio risultava completamente aperto verso la corte interna tramite le porte finestre; percorrendolo, si aveva una continuità visuale sia con il cortile, sia con le aule da disegno, che grazie alla conformazione curva dei due corpi laterali appariva sempre diversa. Nella configurazione attuale, invece, stretto tra due sistemi di ambienti consecutivi, risulta essere semplicemente un connettivo senza alcuna continuità fisica o visiva né con la corte, né con lo spazio interno, in cui anche il rapporto con la luce risulta profondamente modificato. I volumi delle ali curve, frazionati in numerosi ambienti dalla pianta approssimativamente rettangolare, hanno perso il valore originario. Anche l'uso del colore, sapientemente studiato da Ponti per accentuare la percezione degli spazi interni, dei loro collegamenti o della loro separazione, non è più apprezzabile nella sua totalità.

Gli stravolgimenti subiti dall'edificio sono stati molteplici: la modifica dei percorsi interni, la frammentazione degli spazi, la perdita di rapporti gerarchici, l'adeguamento alle norme per la sicurezza, l'inserimento di nuovi impianti. In aggiunta, come se non bastasse, l'incuria per gli spazi e per gli arredi originali contribuisce tuttora al deterioramento di uno spazio che appare, a tratti, irriconoscibile, la cui conoscenza dei caratteri originali è necessariamente demandata ai documenti iconografici d'archivio.

Il rilievo e l'analisi dei dati

Il rilievo dell'Istituto di Botanica e della Scuola di Matematica è stato condotto con l'obiettivo di raccogliere informazioni relative agli edifici nel loro stato attuale considerando gli aspetti architettonici, strutturali, meccanici ed impiantistici. Questa esigenza ha fornito l'occasione per confrontarsi con le problematiche inerenti la costruzione di modelli ed il

complesso passaggio da un dato acritico, quello del rilievo condotto con metodologie per l'acquisizione massiva, a delle elaborazioni che prevedono la conoscenza del caso di studio al fine di poter sviluppare modelli tridimensionali che, tramite processi HBIM, rispondessero alle attuali esigenze di documentazione digitale e supportassero ogni decisione in termini di manutenzione e ristrutturazione. Tale operazione mostra l'importanza di conoscere l'edificio e il progetto, la sua impostazione, i suoi caratteri principali nel delicato passaggio, ormai sempre più in via di definizione, dai modelli derivanti dalle elaborazioni del rilievo ai modelli tridimensionali informati. Anche l'HBIM, infatti, parimenti a qualsiasi altra modalità di restituzione di un rilievo, deve leggere l'opera analizzata per comprenderne le caratteristiche statiche, funzionali e formali e documentarle attraverso i modelli.

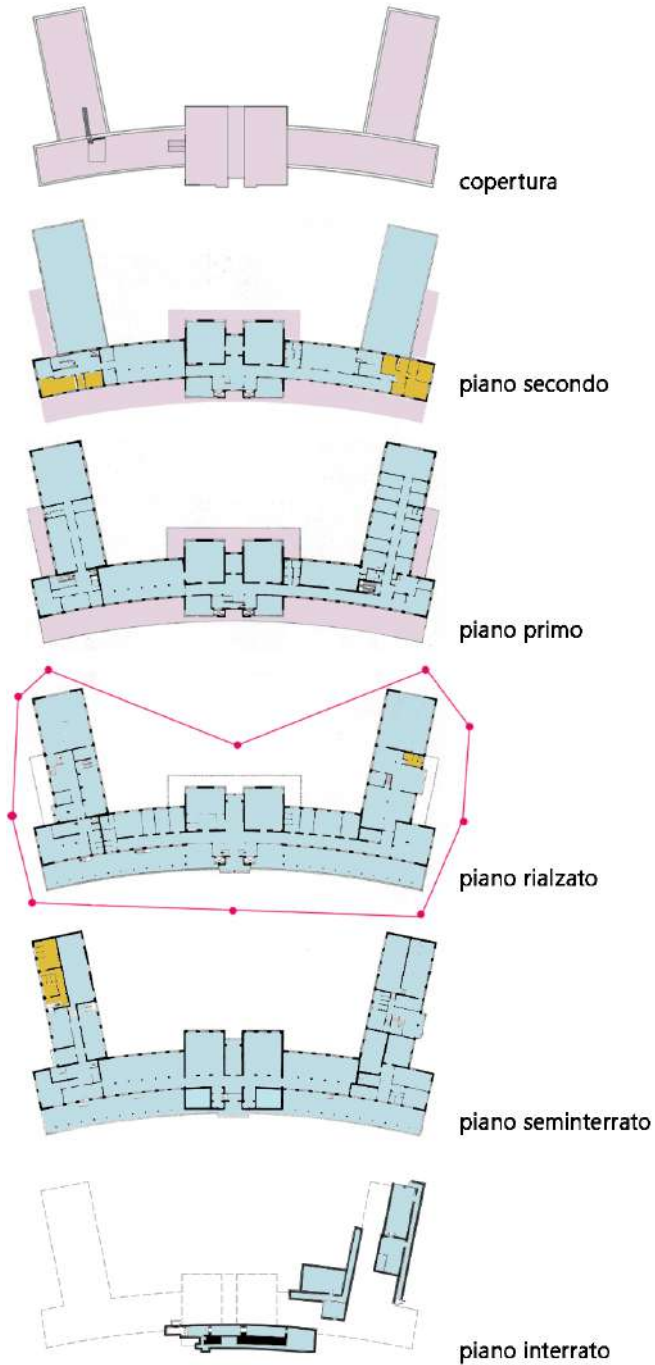
Il processo del rilievo è stato preventivamente progettato per essere applicato ad entrambi gli edifici, prevedendo la possibilità di estenderlo all'intero patrimonio immobiliare di Sapienza. La struttura di una base di dati omogenea e coerente, in grado di guidare la modellazione di oggetti con caratteristiche analoghe, consente di delineare un interessante scenario che collega le ragioni proprie della conoscenza con quelle più tecniche, pratiche e gestionali. Le operazioni finalizzate alla conoscenza, quindi, necessitano di un quadro di riferimento sia in relazione all'acquisizione, sia all'elaborazione dei dati.

L'integrazione di metodologie per il rilevamento non a contatto è stata impostata definendo criteri e modalità di utilizzo degli strumenti, affidando alla topografia il ruolo di gestione e controllo dell'incertezza di un rilievo di notevole estensione, alla scansione laser la documentazione dei caratteri morfometrici dell'edificio, alla Structure from Motion la raccolta di informazioni di dettaglio sullo stato

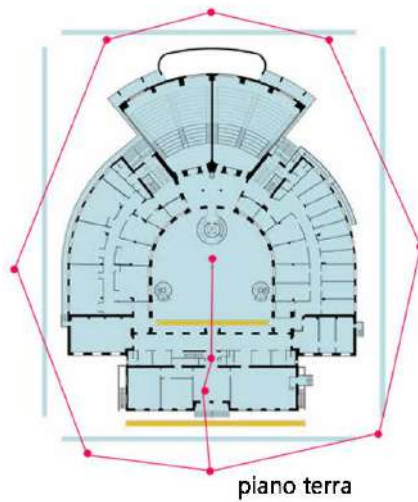
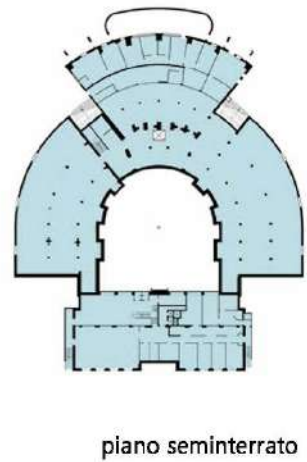
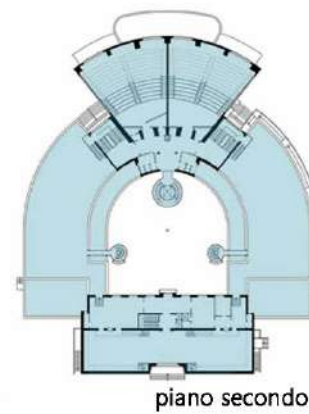
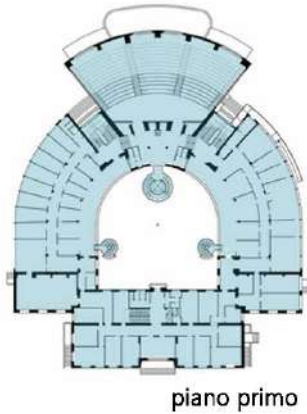
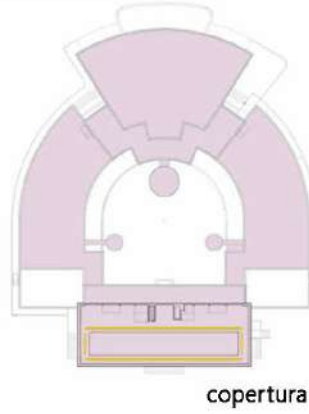
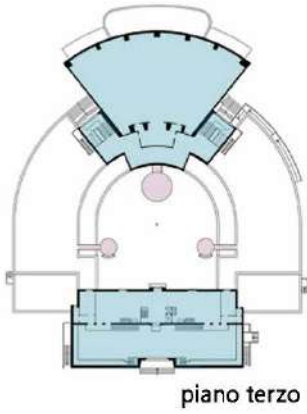
conservativo delle superfici e quelle relative alle coperture, acquisite tramite sistemi UAV (fig.47, fig.48). La predisposizione di una poligonale topografica ha consentito non solo di inquadrare ogni edificio all'interno di una maglia rigida controllata, ma anche di misurare alcuni punti notevoli scelti direttamente sull'oggetto. Inoltre, ha reso possibile il successivo orientamento delle nuvole di punti ottenute mediante scansione laser 3D all'interno di un unico sistema di riferimento cartesiano che, in questo modo, si presta ad accogliere, in futuro, eventuali collegamenti con altri edifici della Città Universitaria. Le acquisizioni laser scanner, invece, sono state progettate con l'obiettivo di avere una copertura completa di tutte le facciate e di tutti gli ambienti, dal piano interrato alla copertura, tenendo conto delle attività che hanno luogo all'interno delle diverse sezioni dell'edificio e della presenza di elementi architettonici di alto valore, la cui presenza è fondamentale per la scelta di alcuni parametri strumentali. La maglia di acquisizione, infatti, non è stata impostata in modo omogeneo proprio per rilevare determinati elementi con un maggiore qualità: le scansioni sono state effettuate coprendo con una griglia di 2x2 cm l'intero edificio e con una griglia di 5x5 mm gli elementi di alto pregio architettonico (fig.49; fig.50). Tali elementi sono stati identificati, dapprima, tramite la raccolta e l'analisi di informazioni storiche e bibliografiche, successivamente verificati tramite l'ispezione degli edifici, dimostrando come l'analisi dei dati non corrisponda esclusivamente alla lettura geometrica, morfologica e superficiale del rilievo. Il passaggio di scala all'interno delle acquisizioni consentono, da un lato, di validare la metodologia di raccolta dei dati; dall'altro, di studiare le logiche progettuali e costruttive che legano le due architetture alle soluzioni di dettaglio progettate da Ponti e Capponi, confermando l'im-

2. Sperimentazione

Fig. 47/ Il rilievo integrato dell'Istituto di Botanica. In celeste le aree coperte da scansione laser 3D, in rosa le acquisizioni UAV, in ocra il rilievo diretto, in fucsia la topografia.



HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico



2. Sperimentazione



Fig. 48/ Il rilievo integrato della Scuola di Matematica. In celeste le aree coperte da scansione laser 3D, in rosa le acquisizioni UAV, in ocra la fotogrammetria, in fucsia la topografia.

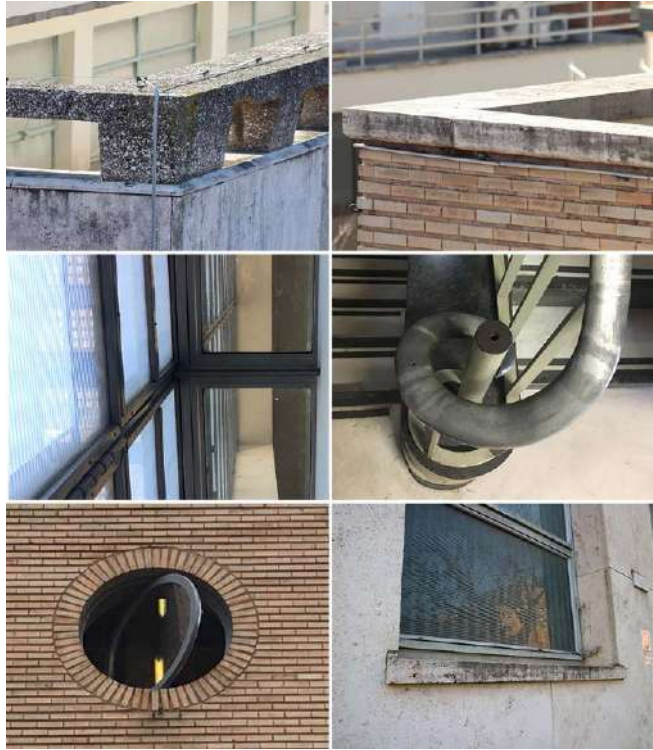
Fig. 49/ Gli elementi di pregio dell'Istituto di Botanica.

portanza del legame che intercorre tra la geometria del modello e il suo contenuto informativo.

Anche la gestione del modello numerico ha accomunato i due casi studio analizzati. Le nuvole di punti, che si presentavano di difficile gestione della loro densità, sono state decimate per ottenere un dato su cui lavorare agilmente, che fosse compatibile con l'incertezza della scansione laser 3D. I modelli numerici prodotti costituiscono un apparato documentale di grande efficacia: essi consentono di apprezzare i rapporti proporzionali tra i volumi che compongono l'edificio e tra gli elementi che compongono i prospetti esterni e lo spazio interno, la consistenza dell'oggetto, i fenomeni di degrado e le tracce di lavorazione dei materiali (fig.51; fig.52). Si ha quindi la possibilità di poter studiare gli elementi analizzati attraverso una quantità di informazioni

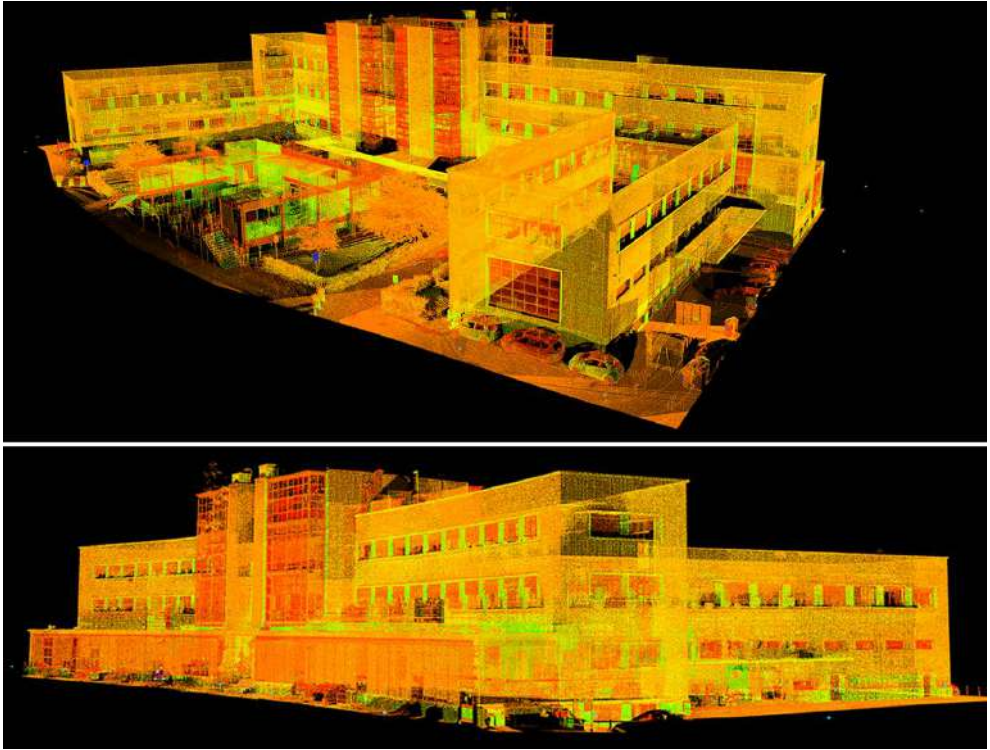
HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Fig. 50/ Gli elementi di pregio della Scuola di Matematica.



tali da conferire continuità ad un modello discontinuo per sua natura. L'impostazione dell'approccio, pur essendo rigorosa, ha consentito di adattare la struttura precedentemente delineata alle peculiarità degli edifici, testimoniando la loro unicità.

Nel caso dell'Istituto di Botanica, un'attenta indagine del dato di rilievo ha consentito di verificare, in prima istanza, la simmetria dell'impianto geometrico e, successivamente, di identificare le diverse giaciture (fig.53). Le curve che definiscono sia il volume esterno, sia lo schema compositivo interno degli ambienti ai primi due piani, risultano archi di circonferenze esattamente concentriche. Inoltre, sulle curve che al piano terra delimitano i lunghi spazi riservati ai corridoi a destra e a sinistra del corpo centrale, si trova il centro dei due pilastri circolari, e la stessa cosa accade al piano primo, in cui i centri dei pilastri si trovano



sulla curva che delimita l'atrio. La curva segue l'andamento del lotto su cui insiste l'edificio analogamente a quanto accade per l'Istituto di Istologia e Fisiologia generale, collocato sul versante opposto secondo una configurazione che appare specchiata rispetto all'edificio di Capponi. L'impostazione del complesso della Città Universitaria secondo due assi ortogonali ha sicuramente influenzato la giacitura dei due bracci che escono dal volume curvo: quello orientato a ovest ne segue l'orientamento, determinando la posizione simmetrica dell'altro. Al contrario di quanto si potrebbe pensare, considerando la connotazione fortemente geometrica dell'edificio, le giaciture dei due bracci non convergono nello stesso centro ma in due centri differenti non intersecati dalle giaciture del corpo centrale. Lo studio dei prospetti e gli elementi che li definiscono, le torri, le grandi vetrate, le finestre

Fig. 51/ Il modello numerico dell'Istituto di Botanica.



Fig. 52/ Il modello numerico della Scuola di Matematica.

a nastro, le aperture e il posizionamento delle scale esterne confermano il rigore simmetrico della struttura e la presenza, sia all'esterno che all'interno, di elementi dalla configurazione simile ma riproposta con alcune variazioni.

L'analisi dell'edificio di Gio Ponti è stata condotta secondo lo stesso criterio: la ricerca delle costruzioni

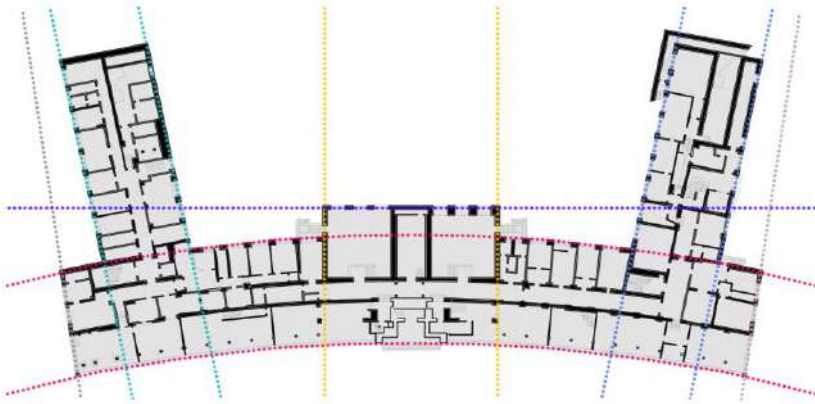


Fig. 53/ Le giaciture dell'Istituto di Botanica, pianta del piano terra.

sottese all'impianto geometrico e l'analisi dei rapporti tra le parti. Lo studio della configurazione planimetrica ha previsto la scomposizione della Scuola di matematica nei tre blocchi che, con altezza e impronta diverse, rinserrano il vuoto centrale della corte interna: il parallelepipedo dell'atrio e della biblioteca, il corpo a ferro di cavallo delle aule e degli uffici e la porzione cilindrica che contiene le aule ad auditorium. Le proporzioni del corpo principale appaiono definite dalla ripetizione del modulo della lastra in travertino, di dimensioni 145x145 cm, che articola la posizione delle finestre del prospetto principale e dei due lati corti. Nella facciata nord il giunto tra due lastre cade esattamente a metà delle bucaure del piano terra e del primo piano, e a metà degli spazi vuoti del coronamento in cemento (fig.54). Nelle facciate est e ovest accade la stessa cosa anche se le lastre non sono della stessa dimensione: quelle in corrispondenza degli angoli sono larghe 96,5 cm, circa due terzi di 145, altre sono larghe 121 cm. Questa dimensione viene definita dallo spazio risultante dall'applicazione della lastra d'angolo (96,5x145cm) e di quella standard (145x145cm) secondo un ritmo che consente di impostare simmetricamente anche le facciate corte (fig.55). La facciata a sud, quella rivolta verso la corte, in cui la regolarità dell'alternanza

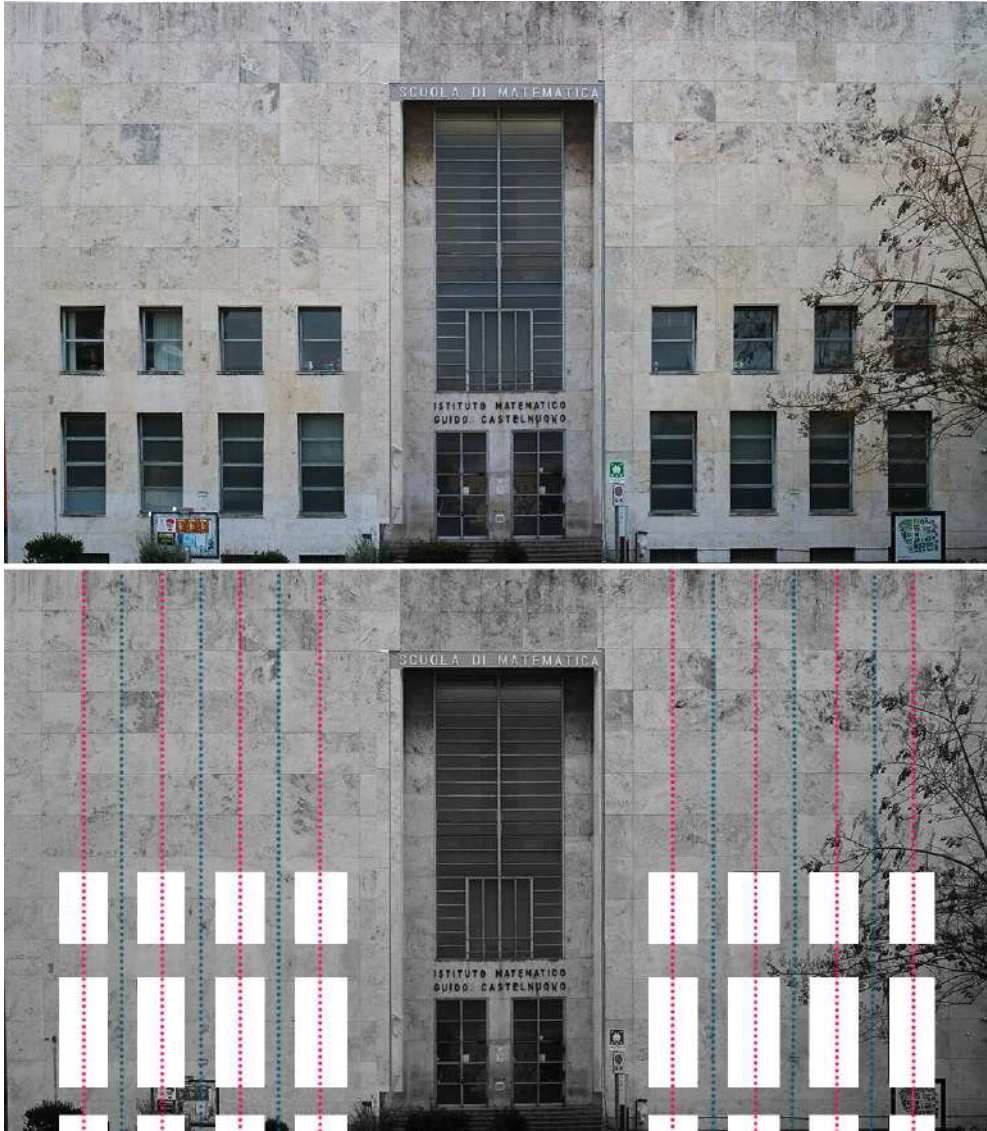


Fig. 54/ Analisi compositiva del prospetto nord del corpo principale della Scuola di Matematica. In alto l'ortomimmagine della facciata, in basso il rapporto tra le bucaure e le lastre di rivestimento in travertino.

tra pieni vuoti viene interrotta dal portale centrale e dalla finestra del piano primo, è invece rivestita con mattoncini in litoceramica, sapientemente disposti allineando i ricorsi e le fughe rispetto alle aperture. L'area del cortile delimitato dalle ali curve e dal settore cilindrico della torre delle aule risulta definita da una circonferenza sul cui asse si trovano due centri



di curvatura (fig.56), quello riferito al volume che contiene le aule ad auditorium e quello dei due atrii laterali da cui è possibile accedere direttamente al retro dell'edificio, senza passare dall'ingresso. Anche la disposizione delle finestre nella facciata posteriore della torre delle aule e nei prospetti delle ali curve è simmetrica, sebbene la configurazione di questi volumi, curvi, con altezze e aggetti differenti, renda queste due parti meno regolari del blocco principale, conferendo all'edificio, nel complesso, un aspetto dinamico.

L'analisi del rilievo dei due edifici ha permesso di verificare metricamente sia l'aspetto della costruzione geometrica, relazionando la loro costruzione con l'impostazione progettuale, sia le assialità degli elementi strutturali e di quelli compositivi, la simmetria

Fig. 55/ Analisi compositiva del prospetto est del corpo principale della Scuola di Matematica. A destra la vista ortografica della nuvola di punti, a sinistra il rapporto tra le bucatore e le lastre di rivestimento in travertino e l'indicazione delle tre dimensioni diverse delle lastre.

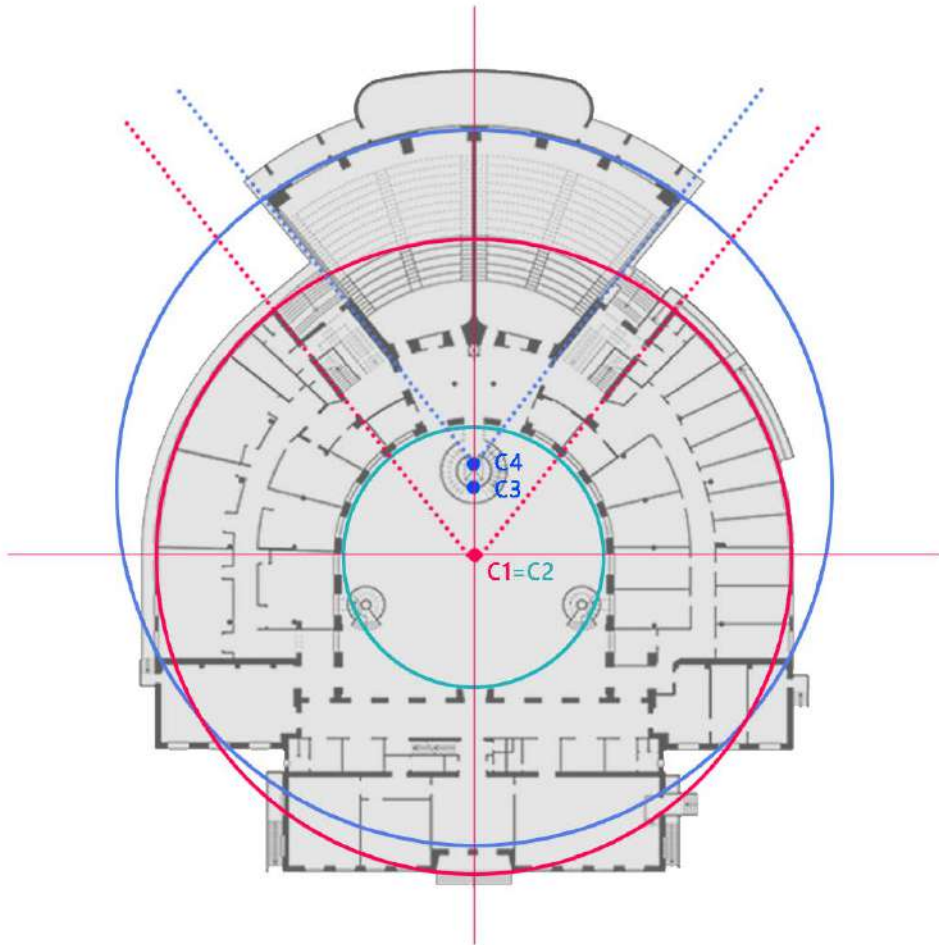


Fig. 56/ Analisi geometrica della Scuola di Matematica, pianta del piano terra.

delle facciate e l'articolazione dello spazio interno. In questo modo, i due edifici vengono connotati non solo dal punto di vista morfometrico, ma nella totale complessità del contesto della loro realizzazione.

La costruzione del modello informato

L'Istituto di Botanica e la Scuola di Matematica appaiono caratterizzati da un forte equilibrio tra la presenza di elementi puntuali e quelli ospitati da elementi lineari. La trasposizione di questa impostazione secondo il processo HBIM comporta un parita-

rio impegno sia nella costruzione del *template*, finalizzato alla definizione di un proto-modello, sia nella costruzione della libreria. In particolare, la struttura del *template* assume un ruolo molto importante, considerando l'omogeneità dei materiali e delle tecniche costruttive impiegate non solo nei due edifici ma nell'intero complesso della Città Universitaria. Esso aspira a costituire la libreria di oggetti non caricabili che coprono tutto lo spettro delle tecniche costruttive utilizzate in tutte le costruzioni di questo lotto urbano e che, quindi, consentirebbe di modellarle per lo più tramite questi elementi. Gli edifici della Città Universitaria, inoltre, risultano particolarmente adatti ad una modellazione di tipo parametrico e basata su un principio di standardizzazione degli elementi. Le caratteristiche morfologiche, formali e stilistiche degli edifici, e quelle tipologiche degli elementi che concorrono a definirne l'aspetto, consentono di sfruttare pienamente le potenzialità di una modellazione di tipo parametrico associativo. Sia nell'Istituto di Botanica che nella Scuola di Matematica è possibile riscontrare regole compositive e di aggregazione tra le parti che, un po' per la contemporaneità della costruzione, un po' per il tipo architettonico cui fanno riferimento, rendono questi casi di studio molto simili ad edifici che potrebbero essere progettati ex novo. Quello su cui ci si sofferma è l'approccio con cui tutti gli elementi vengono sistematizzati e organizzati, per definire un database completo e di facile gestione con l'obiettivo di semplificare e ottimizzare la modellazione di edifici ascrivibili al medesimo tipo architettonico. L'analisi dei dati di rilievo e lo studio delle fonti bibliografiche e dei disegni progettuali d'archivio, sicuramente molto più numerosi e dettagliati rispetto a quelli dei loggiati rinascimentali, hanno consentito di proporre una modellazione che si spingesse fino alla rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva:

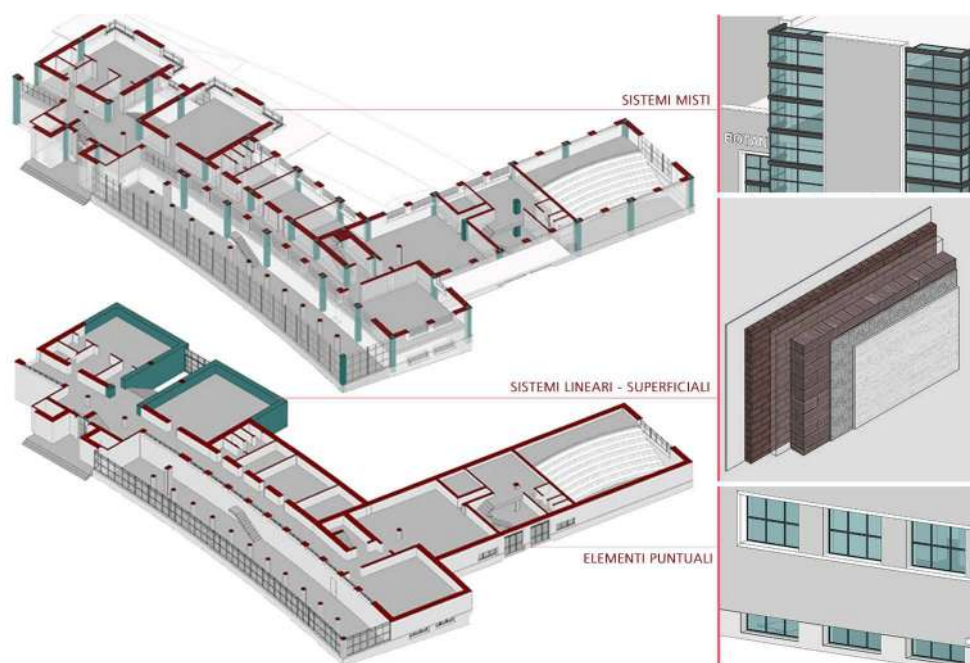


Fig. 57/ Tipologie dei diversi elementi, puntuali, lineari o superficiali, e sistemi misti.

elementi strutturali (telai trave-pilastro o setti lineari a muratura piena), tamponature, infissi, finiture, arredi.

L'impostazione del modello ha previsto, inizialmente, l'organizzazione per discipline; successivamente, la costruzione della struttura sulla base delle tipologie dei diversi elementi, puntuali, lineari o superficiali, e dei sistemi misti (fig.57). Gli elementi puntuali (pilastri strutturali, travi, porte, finestre, connettori di alimentazione, quadro elettrico, connettori per le tubazioni, arredo) costituiscono la libreria caricabile, organizzata per oggetti 2D e 3D, poi per disciplina, e infine seguendo la logica piramidale del BIM che definisce categorie e famiglie. I vari tipi, definiti rispetto alla specificità dei valori parametrici, sono invece creati all'interno del progetto in base delle necessità dei casi di studio. Vista la grande quantità delle componenti, è fondamentale organizzare sia la libreria, sia la nomenclatura, nel modo più chiaro, semplice e condivisibile. Riguardo la nomenclatura,

sono stati osservati alcuni accorgimenti. Dal punto di vista formale, essi consistono nel capitalizzare le lettere significative, utilizzare sigle, mantenere diciture brevi, per consentire una visualizzazione completa durante la selezione dell'oggetto. Dal punto di vista dell'organizzazione del contenuto, si segue un'impostazione di tipo gerarchico, valida per tutte le discipline e tutti gli elementi, così strutturata:

<Codice disciplina>_<Codice Categoria><Codice Famiglia>_<descrizione breve>

Seguendo questa regola, ad esempio, una porta identificata con il codice 001 viene nominata così: ARC_D001_Door Single, che corrisponde all'organizzazione per disciplina, categoria e famiglia<Architecture>_<Door><001>_<Door single opening>.

Al momento della creazione della libreria, non è stato possibile stabilire preventivamente che tutti gli oggetti avessero lo stesso LOD. Per quanto sia auspicabile, infatti, la frequente impossibilità di avere dei dati geometrici (LOG) e informativi (LOI) completi per tutti i componenti architettonici e lo stesso livello di approfondimento, mostra un importante limite. La creazione delle famiglie è stata quindi sviluppata con un alto livello di flessibilità, prevedendo un parametro di visibilità on/off che le rende intercambiabili a seconda della scala di rappresentazione (fig.58).

Inoltre, considerando la logica di standardizzazione che caratterizza l'edificio di Botanica e quello di Matematica sia nell'organizzazione progettuale complessiva delle strutture, sia nelle componenti architettoniche, la progettazione delle famiglie ha tenuto conto della presenza di proporzionamenti e rapporti noti grazie alla preliminare fase conoscitiva.



Fig. 58/ Variazione del livello di dettaglio in relazione alla scala di rappresentazione. In alto: vista fotografica e del modello parametrico dell'atrio della Scuola di Matematica; in basso: rappresentazione in pianta.

Essi sono stati trasposti in ambiente digitale sotto forma di vincoli parametrici che ottimizzano, nel progetto, la variazione dimensionale e la creazione di nuovi tipi (fig.59).

L'organizzazione del *template* comune agli edifici ha previsto la possibilità di una suddivisione dell'edificio in porzioni più piccole, scelte considerandone l'autonomia dal punto di vista compositivo e strutturale. Considerando questa partizione interna, il *template* comprende piani di riferimento, griglie e livelli diversificati, distinguendo quelli che governano l'intero corpo di fabbrica da quelli che invece saranno utilizzati nell'ambito specifico di ogni porzione e relativo *workset*. Il *template* mette a disposizione diverse possibilità, nel file centrale relativo ad ogni edificio sono stati posizionati i riferimenti globali di pianta e alzato e nelle copie locali vengono utilizzate le linee guida per la costruzione della partizione o di un suo aspetto disciplinare. Nel file centrale si individuano i blocchi dalla differente conformazio-

2. Sperimentazione

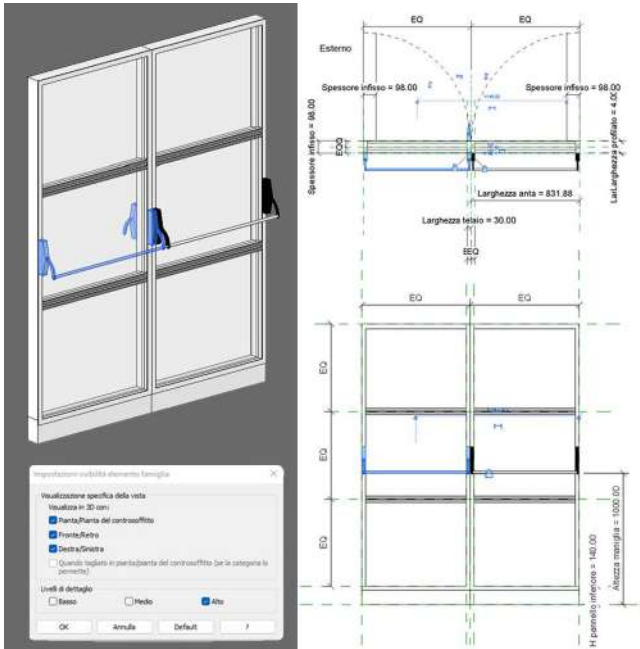
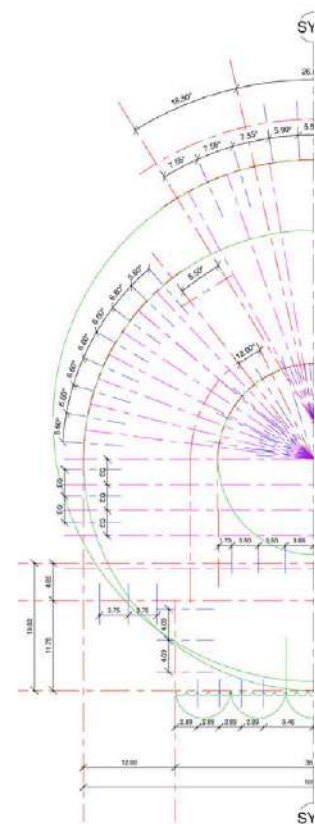
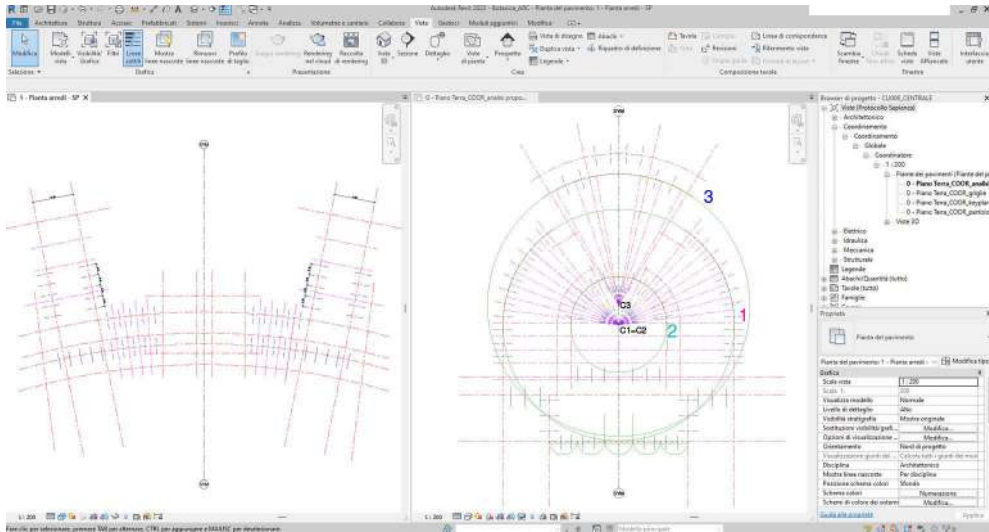


Fig. 59/ Progettazione della famiglia caricabile porta con esplicitazione del livello di dettaglio dei componenti e vincolistica proporzionale.

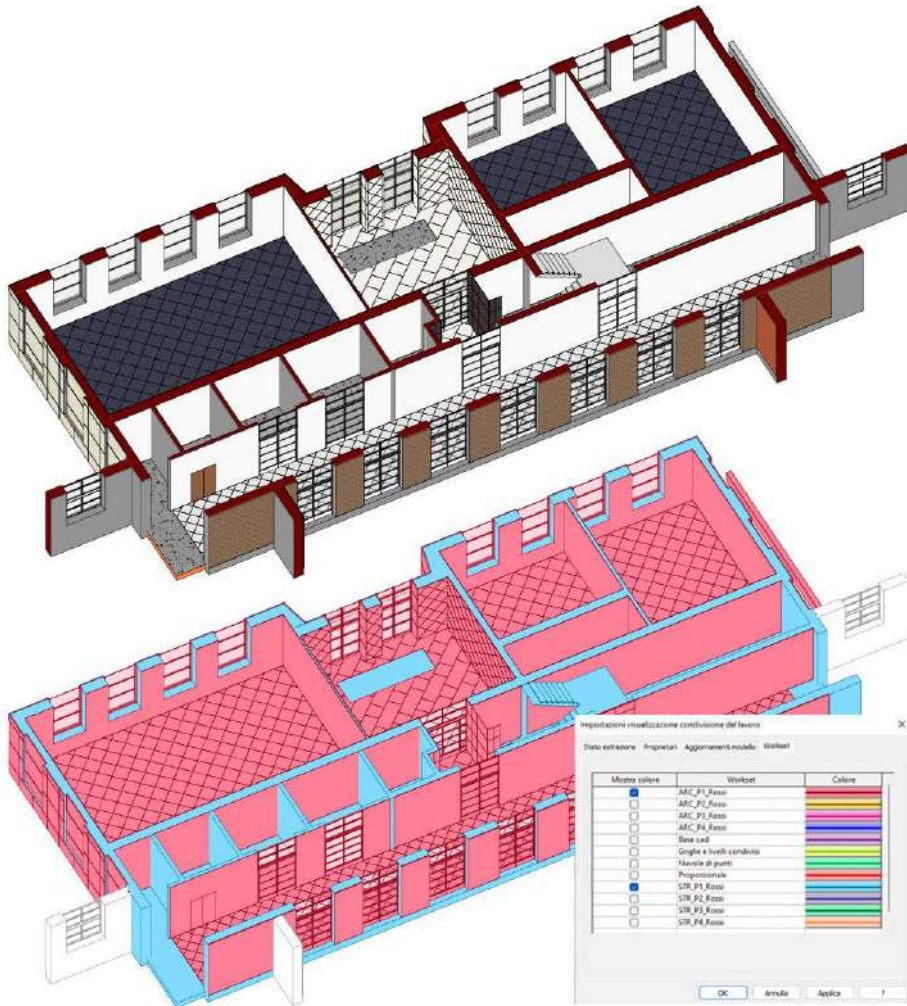
ne e volumetria, la cui collocazione è coerente con il modello numerico derivante dall'elaborazione dei dati di rilievo. Tramite la condivisione delle coordinate all'interno del file sono stati posizionati anche i riferimenti globali e i limiti della modellazione di ogni partizione, individuati i passi strutturali e i piani di riferimento per marcare l'assialità delle bucaure (fig.60). I fili fissi sono controllati tramite un sistema non semplicemente quotato, che funge da vincolo metrico, ma anche parametrico, che esplicita la relazione proporzionale tra i valori metrici stessi, così da consentire non soltanto una gestione ottimizzata del modello ma, soprattutto, rendere manifesta l'intenzione progettuale (fig.61).

Entrando nel merito degli elementi del modello che è possibile prevedere all'interno del *template* prima ancora che nel file di progetto, è stato utile, sulla base dello studio delle componenti presenti in entrambi gli edifici, organizzare il lavoro per tematiche. Le famiglie di sistema analizzate⁵¹ sono quelle che

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico



descrivono la totalità dell'edificio in termini di confini esterni, partizioni interne e collegamenti verticali tra le diverse quote. I tematismi di muri, pavimenti, controsoffitti, coperture, scale e rampe, ringhiere sono stati trattati in relazione al loro ruolo disciplinare (finitura architettonica o struttura) per consentire una gestione separata delle varie componenti in vista di eventuali progetti di manutenzione e restauro. All'interno del modello, grazie all'utilizzo di *workset* personali organizzati per disciplina, è sempre possibile distinguere, isolare e porre in evidenza una disciplina rispetto all'altra (fig.62). A questa prima divisione organizzativa corrisponde un diverso approccio alla modellazione che comprende oggetti definiti tramite pacchetti stratigrafici ed elementi più complessi, nidificati. Tra le famiglie di sistema stratigrafiche si possono annoverare quelle di muri, pavimenti e tetti. Il *template*, per ognuna, mette a disposizione stessi tools organizzati per disciplina architettonica e strutturale; in questo modo le operazioni di costruzione dei pacchetti stratigrafici sono le medesime e la gestione fluida degli oggetti creati viene affidata alla nomenclatura. Le stratigrafie delle



finiture architettoniche sono state trattate tenendo in considerazione sia la computazione superficiale (in termini di m² di materiale per vano), sia, considerando il pregio delle finiture di alcuni ambienti, la possibilità di selezionare e la caratterizzare dei singoli elementi al fine di produrre degli abachi (fig.63) e consentire l'elaborazione di tavole tematiche con l'applicazione di filtri visuali (fig.64).

I sistemi complessi non stratigrafici delle stesse categorie (muri, pavimenti e coperture) sono invece

Fig. 60/ Posizionamento delle linee guida per la costruzione dei modelli dell'Istituto di Botanica e della Scuola di Matematica.

Fig. 61/ Progettazione vincolata ed esplicitazione dei rapporti tra le parti tramite vincoli proporzionali.

Fig. 62/ Visualizzazione di una partizione del modello di Matematica e confronto tra la modalità classica di rappresentazione degli elementi modello e l'omologa rappresentazione per sostituzione grafica di colore per *workset*.

2. Sperimentazione

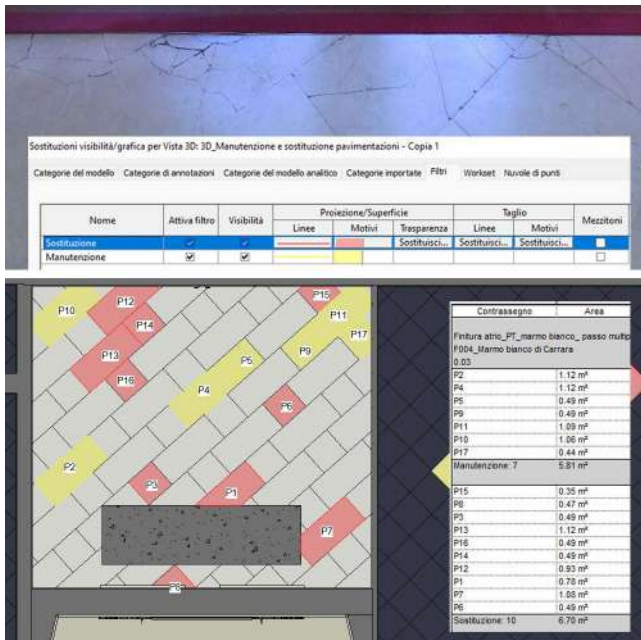
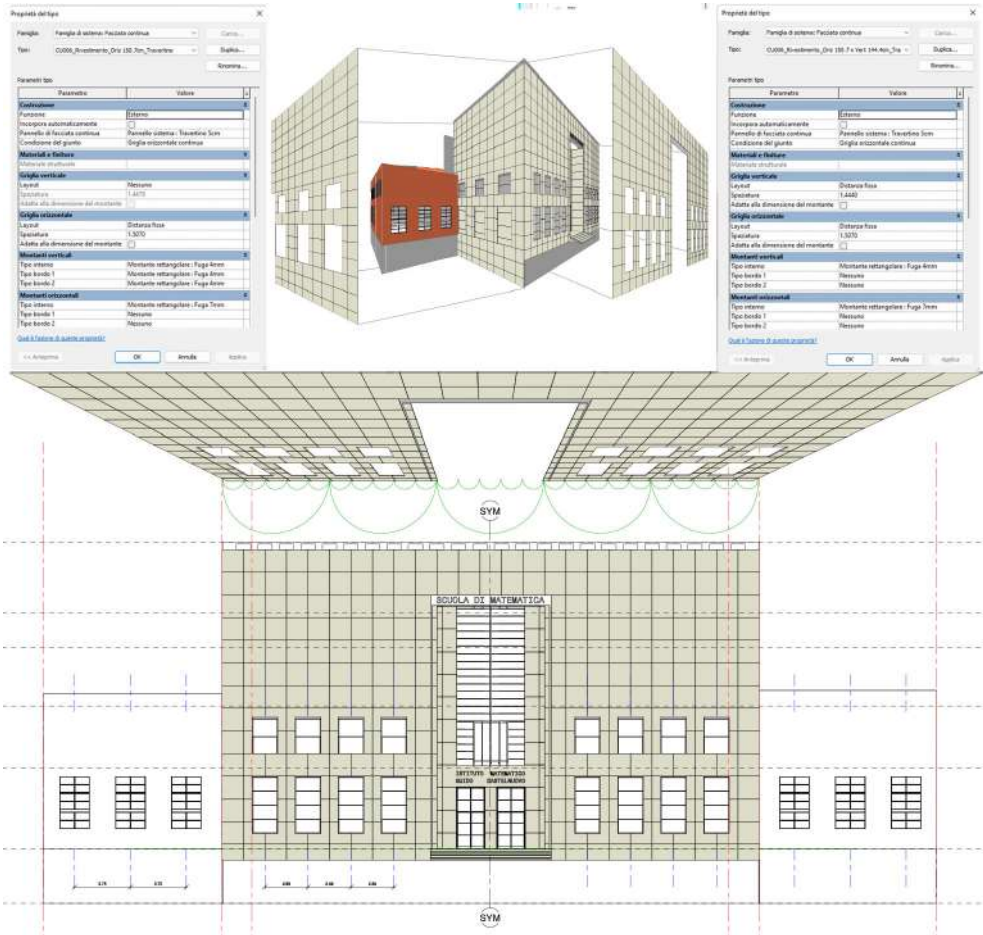


Fig. 64/ Tematismi e analisi specifiche dello stato di conservazione delle lastre di marmo a pavimento nell'atrio della Scuola di Matematica: creazione di parametri di visibilità per sostituzione colore e associazione dell'intervento.

filii bidimensionali (fig.65). La modellazione della facciata della Scuola di Matematica costituisce l'esempio che esprime l'esito delle analisi condotte sugli elaborati progettuali di archivio e sul rilievo, che hanno dimostrato come la lastra sia l'elemento che proporziona l'intera facciata. Tale evidenza è stata inserita all'interno del modello sia in una particolare vista tematica in cui l'analisi proporzionale è stata graficamente esplicitata, sia all'interno delle regole di progettazione della pannellatura in cui la dimensione della lastra è il passo del grigliato (fig.66).

Alcuni elementi, non puntuali e non lineari, sono basati su un sistema di modellazione misto. Le famiglie di sistema su pannellatura possono avere un rivestimento opaco o vetrata trasparente⁵², a seconda delle geometrie e dei materiali dei vari componenti che le costituiscono. Gli stessi elementi pannello, tuttavia, possono avere una funzione differente, come accade in presenza di infissi. In un fronte

2. Sperimentazione



(fig.67) e la corretta gestione della nomenclatura. La modellazione dei collegamenti verticali, infine, è risultata piuttosto complessa. Qui convergono molte delle strategie enunciate finora, tra cui la separazione delle discipline. In realtà, la maggior parte dei software di modellazione prevede che, per i corpi scala, la disciplina strutturale e quella architettonica siano tra loro integrate, consentendo di ottenere un modello finale in cui struttura e finitura siano un tutt'uno. Sebbene questo approccio sia auspicabile, coerentemente con l'impostazione delle altre componenti del modello, i due ambiti disciplinari sono

Fig. 66/ Costruzione delle facciate continue opache della Scuola di Matematica; in particolare la strutturazione parametrica del grigliato della pannellatura del fronte principale di ingresso riporta un principio proporzionatore desunto dal rilievo.

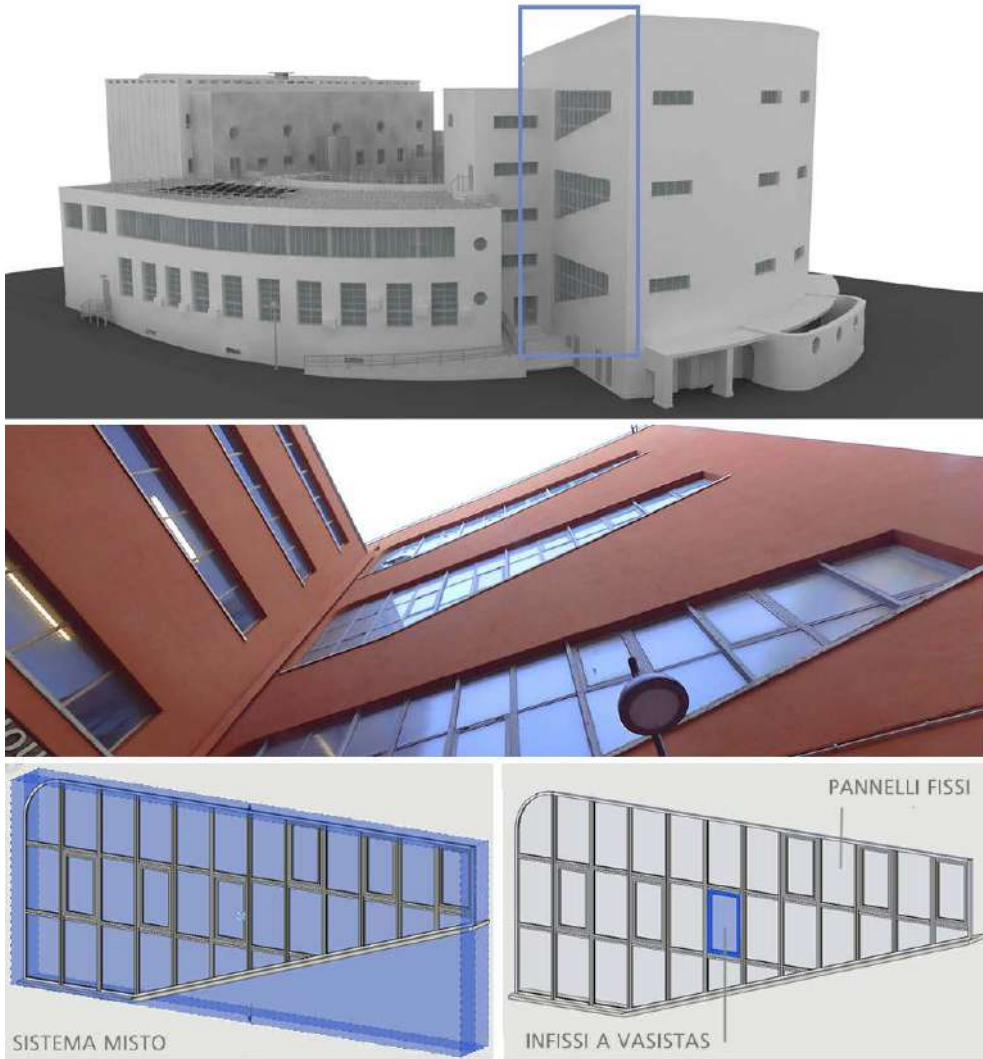
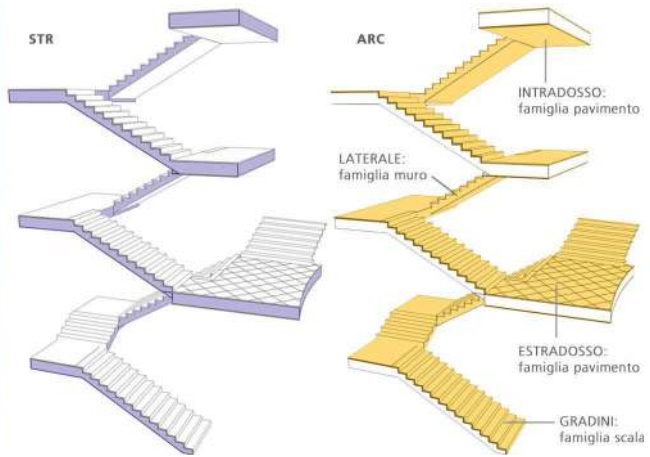


Fig. 67/ Costruzione di facciate continue miste, costruite sulla base di un grigliato parametrico globale che consente la personalizzazione e il cambio di categoria di pannelli specifici.

stati distinti. La modellazione della struttura segue le regole della costruzione parametrica, per cui è sufficiente specificare la differenza di quota tra un livello e l'altro, verificando poi la corrispondenza con il modello del rilievo. La finitura comprende diversi elementi: le alzate e le pedate, i pianerottoli, l'intradosso di pianerottoli e rampe, la copertura delle fasce laterali (fig.68). Ognuna di queste è stata approccia-

2. Sperimentazione



ta in modo differente: le finiture delle alzate e delle pedate vengono modellate come un secondo corpo scala, avente le medesime regole progettuali di quella strutturale a cui è vincolata, ma con materiali e spessori differenti; le finiture dei pianerottoli sono considerate come pavimenti architettonici, gestiti sia come elemento stratigrafico generale sia come partizioni dello strato a seconda che il rivestimento sia di pregio o meno; l'intradosso dei pianerottoli e delle rampe come pavimenti architettonici a quote variabili che siano in grado di adattarsi all'andamento orizzontale dei primi e all'andamento inclinato dei secondi; le pareti laterali delle rampe come muri architettonici sagomati. Nel caso delle scale, quindi, data la complessità delle categorie utilizzate, alla nomenclatura è stata riservata un'attenzione particolare nell'ottica di poter sviluppare computi e calcoli legati alla gestione degli edifici. La molteplicità di strategie adottate in questo caso dimostra come i limiti della rigidità del processo e degli strumenti per la modellazione possano essere superati con un'ampia conoscenza sia dell'edificio analizzato, sia delle modalità di costruzione dell'architettura, dando luogo a modelli perfettamente descrittivi della realtà esistente.

Fig. 68/ Visualizzazione per *workset* degli aspetti strutturali e di finitura architettonica di uno dei corpi scala della Scuola di Matematica: se l'elemento struttura risulta parametricamente e semanticamente omogeneo, le finiture architettoniche sono diversificate e riferiscono a categorie altre.

Considerazioni e note conclusive

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

Vittorio Ugo, Fondamenti della rappresentazione architettonica, 1994.

Il pensiero dell'architetto palermitano riflette l'essenza della sperimentazione condotta. Ci si riferisce, in particolare, alla centralità del modello di architettura, alla sua versatilità e al suo carattere transitorio, che sembrano contrapporsi, in qualche modo, alla capacità di esprimere in maniera esplicita diversi aspetti della realtà, sia essa esistente o progettata. La storia della rappresentazione, nel

HBIM come processo di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

corso dei secoli, ha dimostrato l'importanza della creazione di un modello che rappresenti lo spazio nella sua concretezza attraverso il sapiente uso di tecnica e forma, costituendo lo strumento di conoscenza e di analisi critica per eccellenza. Il modello è, dunque, un processo che porta a scoprire la verità nell'opera, fondato sulla geometria ma anche su parametri culturali, storici, teorici e simbolici. Questo presupposto, ampiamente consolidato, coinvolge anche le modalità attuali per la rappresentazione tra cui si collocano i processi HBIM. Essi si pongono in continuità con tali premesse e costituiscono il punto di partenza per delineare nuovi scenari per conoscere, documentare e intervenire sul patrimonio architettonico. Tali processi seguono le logiche della rappresentazione, fondata su un'ampia struttura che mette in relazione la realtà e i suoi modelli – oggi costruiti per lo più in ambito digitale – attraverso parametri metrici e geometrici, riferiti al progetto e al rilievo, e parametri informativi, riferiti alla documentazione del progetto e agli aspetti non necessariamente visibili o rilevabili "qui e ora".

Il continuo confronto tra la gestione degli interventi di nuova progettazione e quelli sul patrimonio esistente, rispettivamente condotti tramite processi BIM e HBIM, ha rilevato un'importante differenza. Il primo assicura un controllo maggiore nel processo progettuale; nel secondo, spesso e paradossalmente, si tende ad escludere informazioni che sono alla base della comprensione e della configurazione dell'architettura. Tuttavia, il coinvolgimento dell'HBIM nella gestione dei beni architettonici a livello legislativo, ha imposto la connessione tra la ricerca scientifica e l'ambito professionale, che si formalizza nella definizione di regole che garantiscano l'efficacia dell'intero processo, dalla scomposizione dell'architettura alla sua ricostruzione tramite il modello ideale. Tale impostazione considera sia l'aspetto teorico-culturale, sia quello tecnico-operativo, analizzando la cesura che spesso si riscontra tra il primo, essenzialmente legato alla ricerca, e le esigenze temporali ed economiche della professione, che non sempre lasciano spazio alla conoscenza dell'idea di progetto, all'analisi della genesi geometrica di un manufatto e della sua storia evolutiva. La presente sperimentazione, invece, ha consentito di puntualizzare operazioni che siano allo stesso tempo corrette culturalmente e utili operativamente.

L'integrazione tra l'analisi dei dati 1D e 2D, raccolti tramite ricerche bibliografiche e archivistiche, e 3D, raccolti in fase di rilevamento, ha permesso di conoscere maggiormente i quattro edifici e il contesto in cui nascono e si modificano, dando un importante contributo alla definizione ontologica delle entità di cui si compongono. Tutto ciò si riflette sulla modellazione offrendone un'interessante chiave di lettura: affermare che ogni edificio presupponga un trattamento

specifico, per quanto non completamente scorretto in riferimento alle peculiarità di ogni architettura, da un punto di vista concettuale minimizzerebbe le potenzialità dell'approccio BIM, di cui si riconosce il valore proprio in qualità di processo. Inoltre, l'analisi dei casi di studio ha dimostrato che su alcuni edifici esistenti possono essere rintracciati elementi ricorrenti e determinati schemi geometrici. Questa regolarità è l'elemento che denota il singolo edificio, più che rispetto alle sue caratteristiche specifiche, come appartenente ad una tipo architettonico che, in quanto tale, include elementi aderenti a leggi geometriche, di forma e di aggregazione tra componenti. Una volta individuate matrici e regole compositive deducibili dalla lettura integrata del progetto di un edificio e del suo stato attuale, il processo HBIM si confronta con l'accettazione di una inevitabile semplificazione geometrica. Da questa dipende il grado di affidabilità del modello in termini di accuratezza geometrica e rispondenza semantica tra i dati acquisiti e il prodotto della loro interpretazione critica e soggettiva. Alla luce del lavoro svolto, quindi, è possibile trarre tre ordini di considerazioni.

Il primo riguarda il confronto con il pensiero, comunemente diffuso, secondo cui l'applicazione del BIM ad edifici esistenti sia un elemento di svantaggio nella misura in cui esso conduca ad una eccessiva semplificazione, lontana dallo stato di fatto dell'edificio. Infatti, i limiti legati alla rappresentazione di forme che caratterizzano le architetture storiche e alla parametrizzazione di geometrie che non sempre si possono ricondurre ad una regolarità senza giungere a notevoli approssimazioni, possono essere superati nell'immediato confronto con i modelli che descrivono la configurazione dell'oggetto nel presente, derivanti dalle elaborazioni del rilievo. La questione non è soltanto connessa alla possibilità offerta dalle piattaforme di BIM-authoring di collocare entrambi i modelli nello spazio virtuale tridimensionale, ma prettamente culturale. Un modello non completamente rappresentativo dello stato di fatto è un modello che ricerca lo stato di progetto considerando che qualsiasi edificio che appare oggi colpito dagli effetti del tempo e dalle azioni dell'uomo è comunque l'esito di un'attività progettuale che, seppur secoli fa, ha dato origine a una nuova costruzione. Considerare un edificio esistente al pari di uno di nuovo amplia il campo di applicazione del BIM imponendo la conoscenza degli aspetti culturali che possono far coincidere anche la modellazione di un'architettura storica con la modellazione di uno stato di progetto.

Il secondo ordine di considerazioni esamina maggiormente gli esiti della fase sperimentale della ricerca condotta sui complessi architettonici. Essa ha messo

HBIM come processo di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

in luce quanto la gestione del modello sia diversa se la struttura oggetto di indagine sia stata realizzata uno o cinque secoli fa. Nonostante in tutti i casi si riconosca la presenza di un forte rigore geometrico e la ripetizione di determinati elementi, sia nell'impianto strutturale, sia in quello formale, gli edifici della Città Universitaria sono stati costruiti ex novo mentre i loggiati si sono adattati a delle preesistenze. Un contesto già edificato implica la necessità di personalizzare la costruzione: la variazione delle proporzioni degli ordini di Palazzo Camuccini e di Palazzo Cesi non avrebbe avuto luogo se l'architetto si fosse trovato a dover progettare senza alcun vincolo. Anche la realizzazione, artigianale nel caso dei loggiati rinascimentali, industriale nel caso degli edifici universitari, costituisce un'importante differenza. Questo, però, non deve erroneamente far credere che l'approccio alla costruzione dei loggiati non sia stato razionale o che non siano state seguite regole precise, dal momento che anch'essi rispondono a pieno titolo alla definizione di tipo architettonico. Inoltre, proprio i casi come questo rendono indispensabile conoscere la genesi del progetto e raccontare la gestione dello spazio. Sulla base della rappresentatività tipologica degli edifici analizzati si individuano i caratteri stilistici, le matrici geometriche e le relazioni tra gli elementi perseguendo la ricerca di un linguaggio in grado di descrivere i due tipi architettonici, il loggiato rinascimentale e l'edificio razionalista. La modellazione viene impostata rispetto ad un approccio generale analogo che prevede la definizione di un template e della libreria caricabile, entrambi legati allo studio sia dello stato di fatto degli edifici, ma anche al loro passato. A tal proposito, comprendere i rapporti proporzionali che governano i loggiati e i loro innesti con la costruzione preesistente ha reso maggiormente complessa la fase di studio dei documenti d'archivio e il confronto con i trattati. In questo caso, la struttura del template ha previsto soltanto la separazione tra le discipline, essendo il modello dei loggiati composto da elementi puntuali e non avendo informazioni sulle stratigrafie murarie. Di contro, la creazione di una libreria caricabile e delle famiglie è stata la fase più onerosa, che ha poi permesso di approcciare alla modellazione del manufatto come una composizione di oggetti digitali personalizzati che riportano le variazioni degli elementi non aderenti alle regole dei trattati.

Per gli edifici razionalisti, invece, date le impostazioni comuni nell'impiego di materiali e tecniche costruttive, la fase più complessa è stata la creazione del template che, potenzialmente, consentirebbe di gestire gran parte dei modelli delle costruzioni della Città Universitaria. Gli elementi della libreria, sebbene più numerosi rispetto al caso dei loggiati, vengono modellati e successivamente utilizzati senza variazioni. La modellazione di pilastri, travi e pavimenti, è stata

impostata secondo gli standard relativi alle tecnologie costruttive impiegate, caratterizzando gli oggetti digitali con gli attributi (materiali, strati costruttivi, ecc.) già presenti nel software utilizzato.

A fronte di alcune differenze riscontrate nella costruzione dei modelli dei quattro edifici, è necessario valutare il processo seguito nel confronto con la loro configurazione reale. Nel caso dell'Istituto di Botanica e della Scuola di Matematica, la modellazione parametrica consente di riproporre l'effettiva configurazione degli elementi reali, progettati secondo una logica razionale che ne prevedeva la produzione in serie e la standardizzazione. Al contrario, negli ordini architettonici che definiscono le facciate di Palazzo Camuccini e Palazzo Cesi, non è possibile ritrovare lo stesso concetto sebbene sia riscontrabile la ripetizione di elementi realizzati artigianalmente. La costruzione del modello ricalca l'intenzione progettuale alla base della struttura della porzione rinascimentale dell'edificio, che prevedeva la ripetizione degli elementi pur avendo consapevolezza della particolarità degli interventi eseguiti. Nel primo caso, quindi, la standardizzazione delle componenti non prevede approssimazioni metriche nella modellazione, mentre nel secondo caso la ricerca della regolarità geometrica è stata necessaria per proporre correttamente la rilettura di manufatti stratificati.

Il terzo ordine di considerazioni riguarda la possibile applicazione del processo a tutti gli edifici ascrivibili ad una determinata tipologia architettonica. Assunto che l'ambito del patrimonio architettonico esistente è caratterizzato da una vasta quantità di esempi eterogenei, la sperimentazione dimostra che è possibile stabilire regole per la modellazione parametrica e informativa che considerino contemporaneamente gli aspetti generali e le peculiarità di un edificio. Il processo prevede un approccio contemporaneamente teorico e operativo, che considera la geometria come elemento di raccordo tra la complessità di un manufatto storico e la generazione della forma attraverso una sequenza ordinata di istruzioni. L'approccio è volto all'interpretazione della relazione tra l'idea di progetto e la struttura della costruzione, che è poi ciò che fornisce il principio di definizione degli elementi dell'architettura. Questo principio stabilisce che il modello debba perseguire un'idea di adeguatezza e di coerenza con le forme, il senso, e il carattere della costruzione a cui si riferisce. È sulla base di questo stesso principio che, a partire dalla definizione tipologica degli edifici, è possibile operare una scelta fra i modi della modellazione più appropriati a rappresentare un carattere, in vista del fine espressivo che l'architettura e i suoi elementi hanno il compito di assolvere: un sistema murario per delimitare, un tetto per coprire, e così via.

HBIM come processo di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

Ciò che qui ci si propone di fare è ricostruire la cornice architettonica entro cui si muovono i ragionamenti formali e spaziali, dichiarati e sottesi, che si possono cogliere ripercorrendo idealmente l'opera secondo la sua concezione originaria. Si agisce, così, in modo selettivo, interpretativo e valutativo, inserendola in un contesto che tiene conto contemporaneamente della sua dimensione originaria e di quella attuale.

Il tema è ancora aperto e la sperimentazione attraverso modelli di edifici riconducibili a un tipo architettonico l'unica verifica possibile della tesi qui esposta. In attesa di un suo superamento.

First part

Evolution of BIM as an industrial production system

The first twenty years of the XXI century witnessed an unprecedented process of economic, ecological, organizational, socio-cultural and professional change. This transformation affects the whole way of living, causing a sound revolution more than just an evolution. In the industrialization process, the relationship between economy and society connects the cultural and institutional change to productivity growth and technological innovation. An industrial revolution is a combination of profound changes in both the work and production technologies organization that leads to a renewed way of conceiving the world. Technology and production are two sides of the same coin: the change in the production chain affects the entire society organization. Therefore, the individuals' position in the working world is one of the fundamental criteria that defines their social role. In such transitional periods, many structures change radically, new ones are formed and others start their decline: professions, social classes, politics, institutions, instruction. In order to understand the current cultural, regulatory and technical context, it is necessary to know the main events that in the last three centuries have marked an evolutionary leap in human hi-

HBIM come processo di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

story. They are especially related to the technological innovations brought also in the field of architecture: new styles, new construction systems, new forms of representation.

BIM/HBIM: the model

The evolution of digital technologies for architecture's representation has allowed the achievement of previously unthinkable results for the built heritage knowledge and communication. By integrating the possibilities of 3D solid and parametric modeling with the data sharing tools, BIM (Building Information Modeling) and HBIM (Heritage Building Information Modeling) promise new chances in managing a big amount of data for the knowledge of the architectural heritage. Currently, BIM is a fundamental reference for new buildings standardization of the architectural and technological components. However, this approach is not fully applicable to the existing architectural heritage. Especially in the case of historic or stratified buildings, standardization is in contrast with the uniqueness of the building. In addition, the ever-increasing need for preventive and conservative interventions on existing buildings imposes methods and tools to collect, store, compare, share and manage information, partly related to survey operations. The construction of digital models is, in this context, meant as a complete, heterogeneous, implementable and shareable databases. This is one of the reasons why HBIM processes have become object of interest in the representation field of research. In this field, only the strictly cultural aspects are taken into account, regardless the ones linked to a mere time optimization purposes or linked to the study of architectural process management methods or linked to economic aspects.

BIM/HBIM: the type

Initially, the application of BIM to the existing architectural heritage raised some perplexities linked to the apparent inadequacy of the modeling tools to coherently represent historical building features. However, this process can be useful not only for the management of an artifact, but to reach a deep knowledge through an informative model. This considers the complications related to the modeling of historic buildings, and to the possibility of going beyond visible and measurable surfaces, involving the theoretical sphere of the representation. HBIM is a reverse engineering process in which the architecture is broken-down into its elements, and then modeled in the form of digital objects. The main risk affects the simplification of the shapes and the difficulty of modeling the uniqueness of the historical existing heritage. Given this, BIM should not be re-

lated only to design and technology, but some considerations are specific to the representation field. Not surprisingly, it is precisely the Chart of the architectural survey that defines that «the survey of each architectural organism should possibly be transformed into an information system», resulting very coherent with the BIM aims. In this context, addressing the theoretical issues related to the modeling of existing constructions opens up many extremely interesting research scenarios.

Second part

Methodology

HBIM is here understood as the synthesis between the ideality of the project and its material realization. However it is necessary to ensure a correspondence between the digital objects and the real one. This happens through the definition of “what” to model and “how” to do it. “What” to model concerns the concept of the ideal model and the discussion on the architectural type, in other terms, the choice of the criterion of analysis for the existing object, to reconstruct its digital twin. This leads to the second issue, related to “how” to model. Given this, it is necessary to build a model that, at the same time, shows the relationship between the ideal model and the real one, solving their contrast. For this reasons, it is therefore essential to define the right setting of the model, through a central approach, the definition of templates based on the building category, a knowledge system based on multidimensional data that allow to have the geometric and informative parameters of each object, which is the LOD of the elements.

The model aims to match the representation model of the existing with the one of the design intentions, respecting the premises on which BIM is based: the simulation of the construction processes – from the idea, to the realization, to the maintenance, to the decommissioning – the interoperability, the data integration, the measurement of the reliability of the digital model according to a scientific approach.

Application

The theoretical discussion about the ideal model, the architectural type, the typing of the template, the evaluation of the reliability of the models, and the practical issues related to the central approach and to the organization of knowledge in the HBIM process, are here referred to different architectures.

HBIM come processo di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

The case studies are Palazzo Camuccini in Cantalupo in Sabina, Palazzo Cesi in Acquasparta, both in central Italy, and the Institute of Botany and the School of Mathematics, both in the Sapienza Campus in Rome. The first two are double-order renaissance loggias, built on medieval pre-existing structures, the last two are rationalist buildings from the 1930s. They belong to two different types and historical periods but have important characteristics in common: the definition of compositional rules based on geometry, the classification of formal elements, the standardization and repetition of construction components. For the first two case studies, the application of the rules contained in the sixteenth-century treatises to the palaces of Cantalupo and Acquasparta, makes them suitable to being reinterpreted in a parametric digital space which, although it is not tangible as the pages of the treatise, is conceived as the digital space for the transmission of the architectural rules. For the other ones, the research on the rationalist architectural type aims at recognizing and representing it, showing the digital process of components definition to make explicit the relationships between them which guided the entire project of the Sapienza campus.

Concluding considerations and notes

The integration between the 1D and 2D data analysis, collected through bibliographic and archival research, with the 3D data, collected during the survey, has made it possible to further understand the four buildings and the context in which they were born and modified. The ontological definition of their elements is very important in the modeling process, it offers an interesting interpretation related to recurring elements, making visible certain building geometric patterns. This binds the buildings to an architectural type which, as such, includes elements adhering to geometric laws, of shape and of aggregation between components.

Given this, it is possible to make some considerations. The first one focuses on the role extension of BIM by including cultural aspects, making the modeling of a historical architecture coincident with the modeling of the design status. The second one examines the results of the experimental phase carried out on four architectures. The third one concerns the possible future application of this process to all the buildings in which a specific architectural type is recognizable.

Bibliografia

- AA.VV. *Enciclopedia universale dell'arte*. Istituto per la collaborazione culturale. Sansoni. Venezia-Roma. 1958
- AA.VV. Verso la "Carta del Rilievo Architettonico". In Cundari Cesare, Carnevali Laura (a cura di). *Il Rilievo dei Beni Architettonici per la Conservazione. Atti del Convegno di Napoli, 15/17 aprile 1999*. Edizioni Kappa. Roma. 2000
- AA.VV. The London Charter for the computer-based visualisation of Cultural Heritage (Version 2.1, 2009). In Bentkowska-Kafel Anna, Denard Hugh, Drew Baker. *Paradata and transparency in virtual heritage*. Routledge Taylor and Francis Group. London. 2016, pp. 57-71
- Accasto Gianni, Fraticelli Vanna, Nicolini Renato. *L'architettura di Roma capitale 1870-1970*. Golem Editori. Roma. 1971
- Argan Carlo Giulio. Manifestazioni d'arte. *Le arti*, II. 1940, pp. 195-196
- Attenni Martina, Rossi Maria Laura. La modellizzazione del patrimonio costruito. Processi BIM a confronto per tipologie architettoniche. *DisÈgno*, n.4. 2019, pp. 189-200
- Azzaro Bartolomeo. La Città Universitaria della Sapienza di Roma e le sedi esterne 1907-1932. Gangemi Editore. Roma. 2012
- Baratelli Guia. *La Città Universitaria di Roma. Costruzione di un testo architettonico*. Silvana Editoriale. Milano. 2019
- Bardati Flaminia. La Scuola di Matematica di Gio Ponti: i materiali e la qualità dello spazio interno. In Franchetti Pardo Vittorio. *L'architettura nelle città italiane del XX secolo: dagli anni Venti agli anni Ottanta*. Jaca Book Editore. Milano. 2013, pp. 175-181

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

- Barozzi da Vignola Jacopo. *Regola Delli Cinque Ordini D'architettura Di M.Iacomo Barozzio Da Vignola*. Stamperia della Camera Apostolica per l'autore. Roma. 1562
- Battilotti Donata. Torri, portici, logge nelle residenze venete di campagna pre-palladiane. *Opus Incertum*, 1. 2016, pp. 80-97
- Benevolo Leonardo. *Storia dell'architettura moderna*. Laterza. Bari. 1960
- Biagetti Angelo. L'architetto del palazzo ducale di Acquasparta. *Bollettino della Deputazione di Storia Patria per l'Umbria*, XXXI. 1934, pp. 93-109
- Bianchini Carlo. Dal reale al virtuale e ritorno: appunti. In De Carlo Laura (a cura di). *Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione*. Gangemi Editore. Roma. 2007, pp. 307-314
- Bianchini Carlo. Al di là della comunicazione: modelli 3D euristici nello studio dell'Architettura. In Bini Marco, Bertocci Stefano (a cura di). *Le ragioni del Disegno/The reasons of Drawing. Atti del XXXVIII Convegno internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione - XIII Congresso della Unione Italiana del Disegno, Firenze 15,16, 17 settembre 2016*. Gangemi Editore. Roma. 2016, pp. 115-130
- Bianchini Carlo, Attenni Martina, Griffo Marika (Eds.). *Special Issue Heritage Building Information Modeling: Theory and Applications*. A special issue of ISPRS International Journal of Geo-Information, 11. 2022. https://www.mdpi.com/journal/ijgi/special_issues/HBIM_applications (agosto 2022)
- Bianchini Carlo, Griffo Marika. Digital synopsis: dati, informazioni e modelli in connessione. In Rossi Adriana, Arena Mariella, Brandolino Rosario Giovanni, Colistra Daniele, Ginex Giacomo, Mediati Domenico, Nucifora Sebastiano, Raffa Paola (a cura di). *Connettere - un disegno per annodare e tessere/connecting - drawing for weaving relationships. 42° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione, Atti 2020*. FrancoAngeli. Milano. 2020, pp. 1740-1759. http://ojs.francoangeli.it/_omp/index.php/oa/catalog/book/548 (agosto 2022)
- Bianchini Carlo, Inglese Carlo, Ippolito Alfonso, Maiorino Daniele, Senatore Luca James. Building Information Modeling (BIM): Great Misunderstanding or Potential Opportunities for the Design Disciplines. In Ippolito Alfonso, Cigola Michela (eds.). *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and In-formation Modeling*. IGI Global. Hershey (PA). 2017, pp. 67-90
- Bianchini Carlo, Nicastro Saverio. La definizione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi di Heritage-BIM. *Dn - Building Information Modeling Data & Semantics*, n.2. 2018, pp. 45-59
- Bjork Bo-Christer, Lownertz Kurt, Kiviniemi Arto. ISO DIS 13567, The propose International Standard for strut-turino Lakers in Computer a idee Building Design. *Electronic Journal of Information technology in construction - Itcon*. 1997, pp.32-55. <http://www.itcon.org/1997/2/paper.pdf> (agosto 2022)
- Borgogni Francesco, Ippolito Alfonso. I modelli 3D nei rilievi di architettura. In Chiavoni Emanuela, Filippa Monica (a cura di). *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*. Gangemi Editore. Roma. 2011, pp. 71-78
- Buratti Giorgio. Variabili in cerca di definizione | Ontologia del disegno computazionale. In Rossi Michela, Casale Andrea (a cura di). *Uno (nessuno) centomila | Prototipi in movimento. Trasformazioni dinamiche del disegno e nuove tecnologie per il design*. DigitalPrint Service. Milano. 2014, pp. 93-109

- Burns Howard. *La villa italiana del Rinascimento. Forme e funzioni delle residenze di campagna, dal castello alla villa palladiana*. Colla Editore. Vicenza. 2012
- Carpo Mario. *L'architettura dell'età della stampa. Oralità, scrittura, libro stampato e riproduzione meccanica dell'immagine nella storia delle teorie architettoniche*. Jaca Book Editore. Milano. 1998
- Carpo Mario. *The Alphabet and the Algorithm*. The MIT Press. Cambridge, London. 2011
- Centofanti Mario. The scientific dimension of digital model. *DisÈgno*, (2), 10. 2018, pp.57-66
- Cinti Luciano Stefano, Migliari Riccardo. *Geometria Descrittiva. Vol.1-Metodi e Costruzioni*. CittàStudi Edizioni. Torino. 2013
- Cirafici Alessandra. Trascrizioni. L'arte del dire/l'arte del mostrare. In Belardi Paolo, Cirafici Alessandra, Di Luggo Antonella, Dotto Edoardo, Gay Fabrizio, Maggio Francesco, Quici Fabio (a cura di). *Idee per la rappresentazione 3*. Artegrafica. Perugia. 2011, pp. 293-295
- Ciucci Giorgio, Lux Simonetta, Purini Franco. *Marcello Piacentini architetto 1881-1960*. Gangemi Editore. Roma. 2010
- Cortese Paolo, Sacco Isabella. *Giuseppe Capponi 1893-1936*. Gangemi Editore. Roma. 1991
- da Silva Cruz Luis A., Dumić Emil, Evangelos Alexiou. Point cloud quality evaluation: Towards a definition for test conditions. *Eleventh International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*. 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/QoMEX.2019.8743258 (agosto 2022)
- Dal Mas Roberta Maria. Palazzo Cesi Camuccini a Cantalupo in Sabina: dal castello alla dimora signorile. In Dal Mas Roberta Maria, Mancini Rossana (a cura di). *Cinte murarie e abitate: restauro, riuso e valorizzazione*. Aracne. Roma. 2015, pp. 151-153
- Denard Hugh. A new introduction to the London Charter. In Bentkowska-Kafel Anna, Denard Hugh, Drew Baker (eds.). *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*. Routledge Taylor and Francis Group. London. 2016, pp. 57-71
- Devoto Giacomo, Oli Gian Carlo. *Vocabolario della lingua italiana*. Mondadori Education. Milano. 2009
- De Benedetti Mara, Pracchi Attilio. *Antologia dell'architettura moderna: testi, manifesti, utopie*. Zanichelli. Bologna. 1988
- De Luca Francesco. *Modelli architettonici. Dagli strumenti della progettazione alla progettazione degli strumenti. Il modello come strumento progettuale in ambito digitale informatico*. Tesi di dottorato. Dottorato di Ricerca in Composizione Architettonica – Teorie dell'Architettura, XVI Ciclo, Facoltà di Architettura Ludovico Quaroni, La Sapienza Università di Roma, Tutor Prof. Saggio Antonino. 2016. 10.13140/RG.2.1.3486.1681 2006 (agosto 2022)
- De Luca Francesco, Nardini Marco. *Dietro le quinte. Tecniche d'avanguardia della progettazione contemporanea*. Testo&Immagine Editore. Torino. 2003
- De Petra Giorgio. Antonio da Sangallo il Giovane, il cardinal Federico e il palazzo dei Duchi Cesi di Acquasparta. Pliniana. Perugia. 2016
- de Quincy Quatremère. *Dizionario Storico di architettura*. Marsilio editore. Venezia. 1992
- De Seta Cesare. *La cultura architettonica in Italia tra le due guerre*. Laterza. Bari. 1972
- Di Luggo Antonella. Oltre il segno. In Belardi Paolo, Cirafici Alessandra, Di Luggo Antonella, Dotto Edoardo, Gay Fabrizio, Maggio Francesco, Quici Fabio (a cura di). *Idee per la rappresentazione 3*. Artegrafica. Perugia. 2011, pp. 285-288.

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

- Di Luggo Antonella, Scandurra Simona. La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi HBIM. In Mingucci Roberto, Brusaporci Stefano, Cinti Luciani Stefano (a cura di). *DisegnareCon. Le dimensioni del B.I.M.* vol. 9, n.16. 2016, pp.11.1-11.8
- Docci Mario, Bianchini Carlo, Ippolito Alfonso. Contributi per una teoria del rilevamento architettonico. *Disegnare Idee Immagini*, 42. 2011, pp. 34-41
- Docci Mario, Maestri Diego. *Manuale del rilevamento architettonico e urbano*. Laterza. Bari. 2009
- Dotto Edoardo. La regola e lo sguardo. La critica di Giuseppe Damiani Almeya al libro dei cinque ordini di architettura di Vignola. *teCLa: rivista di temi di Critica e Letteratura artistica*, vol.4. 2011, pp.12-36
- Eastman Charles, Fisher David, Lafue Gilles, Lividini Joseph, Stoker Douglas, Yessio Christos. *An Outline of the Building Description System. Research Report n. 50*. Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University. Pittsburgh. 1974
- Fagiolo Marcello. Caprarola: la rocca, il palazzo, la villa. In Fagiolo Marcello. *Vignola. L'architettura dei principi*. Gangemi Editore. Roma. 2007, pp. 107-160
- Fagliari Zeni Buchicchio Fabiano Tiziano. Palazzo Farnese a Caprarola. In Tuttle Richard J., Adorni Bruno, Christof Thoenes Frommel (a cura di). *Jacopo Barozzi da Vignola*. Electa. Milano. 2002, pp. 210-233
- Fantini Filippo. La modellazione in displaced sub-D, modelli a dettaglio variabile da scansione laser. In Verdiani Giorgio (a cura di). *Il ritorno all'immagine, nuove procedure image based per il Cultural Heritage*. 2011, pp. 37-72. http://www.academia.edu/1509213/La_modellazione_in_Displaced_sub-D_modelli_a_dettaglio_variabile_da_scansione_laser (agosto 2022)
- Fiamma Paolo. Architettura... dalla progettazione generativa. In Garagnani Simone, Mingucci Roberto (a cura di). *DisegnareCon. Strumenti digitali per la modellazione d'architettura* vol. 4, n.7. 2011, pp. 52-61
- Fiocchetto Rosanna. *Cesare Cattaneo 1912-1943. La seconda generazione del razionalismo*. Officina edizioni. Roma. 1987
- Fiorani Donatella. *La modellazione della conoscenza nel restauro. Uno sviluppo per il BHIMM. Problematiche generali e il caso-studio di San Saba in Roma*. In Della Torre Stefano (a cura di) *Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente – Built Heritage Information Modelling/Management BHIMM*. 2017.
- Fonseca Frederico, Martin James E. Toward an Alternative Notion of Information System Ontologies: Information Engineering as a Hermeneutic Enterprise. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 56, 1. 2005, pp. 46-57
- Frommel Christoph Luitpold. Vignola architetto del potere. Gli esordi e le ville nell'Italia centrale. In Tuttle Ri-chard J., Adorni Bruno, Luitpold Frommel Christof Thoenes (a cura di). *Jacopo Barozzi da Vignola*. Electa. Milano. 2002a, pp. 39-59
- Frommel Christoph Luitpold. Villa Cervini presso Montepulciano. In Tuttle Richard J., Adorni Bruno, Luitpold Frommel Christof Thoenes (a cura di). *Jacopo Barozzi da Vignola*. Electa. Milano. 2002b, pp. 156-160
- Fusco Giuseppe. Rilievo e memoria. *XY Dimensioni del disegno*, Anno V, numero 11-12. 1986, pp.128-130
- Gaiani Marco, Benedetti Benedetto, Apollonio Fabrizio Ivan. Teorie per rappresentare e comunicare i siti archeologici attraverso modelli critici. *SCIRES-IT SCientific REsearch*

- and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione*, vol 1, Issue 2. 2011, pp. 33-70
- Garagnani Simone, Manferdini Anna Maria. Parametric accuracy: Building Information Modeling process applied to the cultural heritage preservation. *3DArch2013, Conference Proceedings of The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2013, pp.87-92
- Gregotti Vittorio. *Il territorio dell'architettura*. Feltrinelli Editore. Milano. 1966
- Guidi Francesco. Caratteristiche tecniche e organizzazione esecutiva delle opere nella Città Universitaria. *Architettura Rivista del Sindacato Nazionale Fascista Architetti. XIV numero speciale La Città Universitaria di Roma*. 1935, pp. 81-100
- Guza Kamela. *Lappeggi: rilettura di un sfortunata villa buontalentina*. Tesi di dottorato. Dottorato di Ricerca in Architettura, indirizzo in Storia dell'Architettura e della città, XXIX ciclo. Università degli studi di Firenze, Tutor prof. Rinaldi Alessandro. 2016
- Hong Sungchul, Jung Jaehoon, Kim Sangmin, Cho Hyoungsig, Lee Jeongho, Heo Joon. Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures. *Automation in Construction*, 42 (0). 2014, pp. 68-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.021>. (agosto 2022)
- Hong Sungchul, Jung Jaehoon, Kim Sangmin, Cho Hyoungsig, Lee Jeongho, Heo Joon. Semi-automated approach to indoor mapping for 3D as-built building information modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 959 51. 2015, pp. 34-46. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.01.005> (agosto 2022)
- Kwinter Sanford. The Genealogy of Models: The Hammer and The Song. *ANY* n.23. 1998, pp. 57-62
- Langella Carla, Scodeller Dario, Dal Buono Veronica. Design parametrico e generativo: nuove prospettive di ricerca. Editoriale. *MD Journal, n.3. Design parametrico*. 2017, pp. 6-13
- Le Corbusier. *Le Modulor*. Éditions de l'Architecture d'Aujourd'hui. Boulogne. 1948.
- Le Corbusier. La leçon de la machine. In Tamborrino Rosa (Ed.). *Le Corbusier Scritti*. Einaudi. Torino. 2003, pp. 145-151.
- Leyton Michael. *La forma come memoria. Una teoria geometrica dell'architettura*. EdilStampa editrice dell'ANCE. Roma. 2009
- Loria Gino. *Metodi matematici*. Hoepli. Milano. 1935
- Lo Turco Massimiliano. Elogio al disegno parametrico: dalla teoria ai processi operativi. In Filippa Monica, Carlevaris Laura (a cura di). *Elogio della Teoria. Identità delle discipline del Disegno e del Rilievo. Atti del XXXIV convegno Internazionale dei Docenti della Rappresentazione*. Gangemi Editore. Roma. 2012, pp.293-300
- Mandorli Ferruccio. Modellazione esplicita: non solo facilità di modifica. *Il Progettista industriale*, 5. 2014, pp. 30-34. https://www.researchgate.net/publication/262487756_Modellazione_esplicita_non_solo_facilita_di_modifica (agosto 2022)
- Marotta Anna, Lo Turco Massimiliano. Modellazione 3D, ambiente BIM, modellazione solida per l'Architettura e il Design. In Rossi Michela, Casale Andrea (a cura di). *Uno (nessuno) centomila | Prototipi in movimento. Trasformazioni dinamiche del disegno e nuove tecnologie per il design*. DigitalPrint Service. Milano. 2014, pp. 53-60
- Migliari Riccardo. Il disegno degli ordini e il rilievo dell'architettura classica: Cinque Pezzi Facili. *Disegnare Idee e Immagini*, 2. 1991, pp. 49-66

HBIM come sistema di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico

- Migliari Riccardo. Principi teorici e prime acquisizioni nel rilievo del Colosseo. *Disegnare idee immagini*, n.18-19. 1999, pp. 33-50
- Migliari Riccardo. *Geometria dei modelli*. Kappa Editore. Roma. 2001
- Migliari Riccardo. Introduzione alla prospettiva dinamica interattiva. In Migliari Riccardo (a cura di). *Prospettiva dinamica interattiva – La tecnologia dei videogiochi per l'esplorazione di modelli 3D in architettura*. Kappa Editore. Roma. 2008
- Mingucci Roberto, Garagnani Simone, Cinti Luciani Stefano. CAD versus BIM: evoluzione di acronimi o rivoluzione nel mondo della progettazione? *Disegnare idee immagini*, n.44. 2012, pp.68-79
- Mitrano Ida. Giuseppe Capponi: l'Istituto di Botanica e Chimica Farmaceutica, un esempio di architettura razionale nella Città Universitaria. In Carrera Manuel (a cura di). *Sapienza razionalista. L'architettura degli anni '30 nella Città Universitaria*, Roma. Nuova Cultura. Roma. 2013, pp. 33-45
- Moccia Carlo. Per una nuova architettura razionale. *EdA Esempi di architetture*, vol.3, n.2. 2016a, pp. 9-12
- Moccia Carlo. *Realismo e astrazione e altri scritti*. Aion edizioni. Firenze. 2016b
- Morandi Maurizio. Ingegneri ed architetti nell'800. *Rassegna di architettura e urbanistica* n.24_ Settembre-dicembre 1972, pp.37-69
- Muntoni Alessandra. *Roma tra le due guerre 1919-1944*. Edizioni Kappa. Roma. 2010
- Murphy Maurice, McGovern Eugene and Pavia Sara. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27 (4). 2009, pp. 311-327
- Piacentini Marcello. Metodi e Caratteristiche. *La Città Universitaria di Roma, Architettura, numero speciale*. 1935, pp. 2-8
- Ponti Gio. Invenzione d'una architettura composta. Dai "cuboni" alla composizione d'una architettura". *Stile*, 39. 1944, pp.1-16
- Purini Franco. *Comporre l'architettura*. VII edizione. Laterza. Bari. 2006
- Ricci Maurizio, Cesi Adele. La Castellina di Norcia. In Tuttle Richard J., Adorni Bruno, Christof Thoenes Frommel (a cura di). *Jacopo Barozzi da Vignola*. Electa. Milano. 2002, pp. 161-162
- Romagnoli Guido, Manoukian Agopik. *Studi di Sociologia*, Luglio/Dicembre, Anno 9, Fasc.3/4. 1971, pp. 225-288. <https://www.jstor.org/stable/23003368> (agosto 2022)
- Rossi Michela. Le regole del disegno | Modelli e pattern in trasformazione. In Rossi Michela, Casale Andrea (a cura di). *Uno (nessuno) centomila | Prototipi in movimento. Trasformazioni dinamiche del disegno e nuove tecnologie per il design*. DigitalPrint Service. Milano. 2014, pp. 35-52
- Rossi Piero Ostilio. *Roma. Guida all'architettura moderna (1909-2011)*. Laterza. Roma-Bari. 2012
- Sacks Rafael, Eastman Chuck, Lee Ghang, Teicholz Paul. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. 3rd Edition. John Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey. 2021
- Sapori Giovanna, Vinti Carlo, Conti Lino. *Il Palazzo Cesi di Acquasparta e la rivoluzione scientifica lincea*. Delta. Perugia. 1992
- Sdegno Alberto. Computer Aided Deconstruction. *Architettura Intersezioni*, 4. 1996, pp.123-125
- Sdegno Alberto. E-architecture. L'architettura nell'epoca del computer. *Casabella*, 691. 2001, pp.58-67

- Sdegno Alberto. Sketchpad: sulla nascita del disegno digitale. *Disegnare Idee Immagini*, n.46. 2013, pp.74-81
- Senatore Luca James. La scala del modello digitale. In Bianchini Carlo (a cura di). *La documentazione dei teatri antichi del Mediterraneo. Le attività del progetto Athena a MÈrida*. Gangemi Editore. Roma. 2012, pp. 143-144
- Soddu Celestino. *Città Aleatorie*. Domus Argenia Editore. Milano. 1989
- Soddu Celestino. Generative Art. Proceedings of the 1988 Milan First International Conference Generative Art '98. Librerie Dedalo. Roma. 1999
- Sturm Saverio. Cantalupo in Sabina. In Azzaro Bartolomeo (a cura di). *Atlante Del Barocco in Italia. Lazio 2. Province di Frosinone, Latina, Rieti, Viterbo*. De Luca Editore d'Arte. Roma. 2014, pp. 163-165
- Sutherland Ivan E. *Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System*. Ph.D Thesis, Massachusetts Institute of Tecnology, Cambridge, Mass. 1963
- Terzidis Kostas. *Algorithmic architecture*. Architectural Press. Oxford. 2006
- Ugo Vittorio. *Fondamenti della rappresentazione architettonica*. Esculapio. Bologna. 1994
- Vitruvio Pollione Marco. *De Architectura Libri Decem*. Edizione di Cesare Caesariano. Como. 1521
- Wang Chao, Cho Yong K., Kim Changwan. Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. *Automation in Construction*, 56. 2015, pp. 1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.001> (agosto 2022)
- Wirz Fulvio. *Architettura parametrica*. Le penseur. Brienza. 2010

Il volume raccoglie gli esiti di uno studio sulle potenzialità derivanti dall'integrazione del BIM (Building Information Modeling) nei processi di documentazione, comunicazione e gestione del patrimonio costruito, indagando l'estensione del concetto di modello digitale rispetto alla stratificazione della conoscenza resa possibile dall'approccio HBIM (Heritage Building Information Modeling). Il tema viene affrontato con un duplice obiettivo: delineare un protocollo operativo legato alle possibilità di gestione dell'architettura esistente, potenziate dall'integrazione con le metodologie per l'acquisizione massiva di dati, e condurre una riflessione riguardo quale sia la corretta impostazione dell'HBIM affinché possa considerarsi un vero e proprio metodo per la conoscenza, la lettura e l'analisi del patrimonio architettonico.

La sperimentazione affronta questi problemi in relazione a diversi casi di studio appartenenti all'architettura rinascimentale e al razionalismo italiano che, sebbene afferenti ad epoche storiche e a stili differenti, hanno in comune importanti caratteristiche: la standardizzazione del tipo, l'impostazione progettuale basata sul forte rigore geometrico, la definizione di regole compositive basate sulla classificazione e la ripetizione degli elementi formali. L'approccio seguito considera gli aspetti strutturali, le soluzioni compositive e i caratteri formali, ripercorrendo il processo progettuale a cui è subordinata la realizzazione dell'architettura.

Martina Attenni, architetto, PhD e ricercatrice presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura (Sapienza Università di Roma). Dal 2019 è docente presso corsi di laurea e master universitari nazionali e internazionali di I e II livello. Svolge ricerca nel campo del patrimonio architettonico e archeologico, con particolare attenzione alle procedure per l'integrazione di dati e la modellazione informativa. Partecipa a convegni nazionali e internazionali ed è autrice di pubblicazioni riguardanti l'attività di ricerca.

Maria Laura Rossi, architetto, PhD e assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura (Sapienza Università di Roma). Dal 2018 è docente presso corsi di laurea e master universitari nazionali e internazionali di II livello. Svolge attività di ricerca nell'ambito del rilievo digitale integrato e della modellazione digitale parametrica HBIM. Partecipa a convegni nazionali e internazionali ed è autrice di articoli pubblicati in volumi e riviste di settore.