



PAMELA MAIEZZA

RICOSTRUENDO IN DIGITALE

METODI E MODELLI PER I BENI ARCHITETTONICI

PUBLICA

ISBN: 978 88 99586 10 2

PVBLICA

SHARING KNOWLEDGE

PUBLICA

COMITATO SCIENTIFICO

Marcello Balbo
Dino Borri
Paolo Ceccarelli
Arnaldo Cecchini
Enrico Cicalò
Enrico Corti
Nicola Di Battista
Carolina Di Biase
Michele Di Sivo
Domenico D'Orsogna
Maria Linda Falcidieno
Francesca Fatta
Paolo Giandebiaggi
Elisabette Gola
Riccardo Gulli
Emiliano Ilardi
Francesco Indovina
Elena Ippoliti
Giuseppe Las Casas
Mario Losasso
Giovanni Maciocco
Vincenzo Melluso
Benedetto Meloni
Domenico Moccia
Giulio Mondini
Renato Morganti
Stefano Moroni
Stefano Musso
Zaida Muxi
Oriol Nel.lo
Joao Nunes
Gian Giacomo Ortu
Giancarlo Paba
Giorgio Peghin
Rossella Salerno
Antonello Sanna
Enzo Scandurra
Silvano Tagliagambe

Tutti i testi di PUBLICA sono sottoposti a *double peer review*

PUBLICA

PAMELA MAIEZZA

RICOSTRUCENDO IN DIGITALE

METODI E MODELLI PER I BENI ARCHITETTONICI

ISBN: 978 88 99586 10 2

INCIPIT

PAMELA MAIEZZA
RICOSTRUIENDO IN DIGITALE
METODI E MODELLI PER I BENI ARCHITETTONICI

© PUBLICA, Alghero, 2019
ebook ISBN 978 88 99586 10 2

Pubblicazione e stampa Agosto 2019

DISEGNO RESEARCH LAB - PUBLICA
Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Design
Università degli Studi di Sassari

WWW.PUBLICAPRESS.IT

INDICE

Presentazione	11
<i>M. Centofanti</i>	
1. Introduzione.....	13
2. Il rilevamento architettonico come processo di conoscenza	
2.1 Fondamenti teorico-metodologici del rilevamento architettonico digitale.....	17
2.2 I modelli restitutivi digitali.....	25
3. I modelli critici interpretativi: uno strumento di conoscenza	
3.1 I modelli grafici per lo studio dell'architettura.....	33
3.2 I modelli digitali per l'analisi storico critica.....	37
3.3 Modelli 3D e database.....	49
3.4 HBIM: il Building Information Modeling per l'architettura storica.....	55
3.5 La reliability del modello come misura dell'affidabilità della rap- presentazione.....	67
4. I modelli per la comunicazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico	
4.1 Interpretazione e Presentazione.....	73
4.2 Modalità di rappresentazione.....	75

5. Modelli interpretativi per il patrimonio architettonico dell'Aquila	
5.1 Introduzione.....	89
5.2 Architettura realizzata: i portici dei Quattro Cantoni.....	90
5.3 Architettura trasformata: piazza San Basilio.....	105
5.4 Architettura non terminata: la chiesa di Santa Margherita.....	113
6. Conclusioni.....	119
 Note.....	 125
Bibliografia.....	133

Presentazione

La moderna epistemologia definisce la modellazione come una strategia conoscitiva-creativa-comunicativa. Ma ogni modello rappresentativo e la procedura che ne ha consentito la generazione, dovrebbero possedere le caratteristiche proprie del metodo scientifico: la possibilità di replica; il fondamento scientifico dell'autocorreggibilità e il principio di 'falsificazione' (Karl Raimund Popper); la implementazione della conoscenza.

Si è posto dunque il nodo cruciale relativo alla qualità scientifica delle metodiche, delle procedure, delle tecniche.

In tal senso un riferimento significativo è rappresentato dalla 'Carta di Londra per la visualizzazione virtuale dei beni culturali', definita nel 2009 dopo un triennale processo di gestazione, e promossa, tra gli altri, dalla Rete europea di eccellenza nel patrimonio culturale aperto EPOCH che, a conclusione di una lunga fase elaborativa, ha innescato un processo aperto di orientamento, adesione, condivisione e specializzazione nelle diverse comunità scientifiche.

Come nel 2011 quando Il Forum Internazionale di Archeologia Virtuale ha elaborato

I principi di Siviglia che disciplinano l'operatività delle migliori pratiche nella visualizzazione archeologica, basata sul computer, per la completa gestione del patrimonio archeologico.

Da queste esperienze è derivata la introduzione di fondamentali concetti/requisiti quali: la chiarezza dello scopo, la trasparenza scientifica, la sostenibilità economica e tecnologica, l'accessibilità, la interdisciplinarietà, la complementarità, l'autenticità.

A fronte resta una criticità evidente, rispetto ai progressi nella visualizzazione 3D e allo sviluppo della tecnologia digitale, nel persistere di un sostanziale disallineamento, in ordine alla articolazione con modalità trasparente dei metadati

di base e alla problematica capacità dei sistemi digitali di trasmettere la non assertività dei processi critico-interpretativi dell'architettura e della storia dell'architettura.

L'autrice, con la ampiezza argomentativa e la rigorosa sistematicità della trattazione, che caratterizzano il suo saggio, affronta le problematiche, qui sinteticamente richiamate, con sicura padronanza di metodi e tecniche, e appropriata consapevolezza critica.

La linea narrativa assunta muove da un puntuale approccio teorico-metodologico, per dispiegarsi sul complesso tema dei rapporti rilevamento-modellazione e modellazione-conoscenza critica, con particolare considerazione alla centralità della Analisi storico-critica e l'espresso giudizio di valore (sia rispetto alla istanza estetica che alla istanza storica) come fondamento del rilievo, della analisi e della comunicazione della architettura storica.

Di particolare interesse i modelli interpretativi per il patrimonio architettonico del centro storico dell'Aquila, che sottolineano la capacità di fornire inedite chiavi di lettura in ordine ai processi di formazione e trasformazione dell'architettura storica e dei contesti urbani di riferimento.

Un saggio che conferma, in positivo, la produttività scientifica dell'area del Disegno nel quadro delle attività di ricerca del Dipartimento di ingegneria civile, edile-architettura e ambientale dell'Università dell'Aquila.

Mario Centofanti

I. Introduzione

L'architettura ha da sempre utilizzato il disegno come strumento essenziale attraverso cui indagare, concepire e comunicare le caratteristiche ed i valori degli spazi architettonici ed urbani.

Il "modello grafico interpretativo" si offre quale fondamentale mezzo di analisi critica, utilizzabile sia nella fase di progettazione di un'opera sia per la lettura dell'architettura progetta, realizzata o non¹.

L'introduzione del digitale e la conseguente possibilità di manipolare e gestire modelli tridimensionali virtuali del fenomeno analizzato, hanno arricchito e ampliato tali potenzialità, aprendo a interessanti campi di indagine scientifica riguardo lo studio dell'architettura attraverso la rappresentazione.

Il presente saggio si inserisce in tale ambito, affrontando le tematiche connesse con la documentazione del patrimonio architettonico attraverso l'utilizzo di modelli interpretativi digitali, ossia modelli intesi come esito di un processo critico-valutativo fondato sul rilevamento architettonico e sulla ricerca archivistico-documentale.

In tale contesto, il modello complesso 3D rappresenta uno strumento di comprensione delle qualità storico-artistiche e, contemporaneamente, di documentazione e valorizzazione del patrimonio architettonico.

Storicamente, si è sempre fatto ricorso all'utilizzo di modelli spaziali quale strumento di analisi della forma architettonica e di prefigurazione dell'idea progettuale. In passato si trattava di modelli fisici, di maquette attraverso cui studiare la struttura spaziale dell'oggetto architettonico; con l'avvento dello strumento informatico, si è passati invece a modelli digitali, da cui oggi, grazie alle tecniche di stampa 3D, è possibile ottenere nuovamente modelli fisici.

Il modello si pone come intermediario tra la realtà sensibile e l'osservatore, divenendo lo strumento attraverso cui organizzare la rappresentazione mentale

della realtà osservata².

In quanto tramite tra osservatore e manifestazione fenomenica, il modello rappresenta una inevitabile modificazione di quest'ultima: la realtà percepita, risentendo della soggettività dell'osservatore e della necessità di discretizzare il fenomeno, viene interpretata attraverso il modello.

Il modello per l'architettura storica, per le peculiarità di questa, assume una natura specifica. Esso, infatti, si fa portatore del passaggio nel tempo della realtà analizzata, dalla sua ideazione all'attualità, comprendendo sezioni storico-sinchroniche e diacroniche, e ricostruzioni di realtà modificate o mai realizzate.

Il modello così strutturato diventa strumento dell'analisi storico-critica dell'edificio, costituendo l'interfaccia di accesso alla conoscenza del bene.

Inoltre, poiché la valorizzazione dell'architettura non si esaurisce col preservare la fisicità dell'opera ma comprende anche la piena fruizione del bene da parte della collettività, il modello digitale 3D diventa anche strumento di comunicazione dei valori architettonici, ruolo favorito dalle attuali tecnologie di realtà virtuale e realtà aumentata.

Il saggio si è posto come obiettivo la definizione di una metodologia volta alla documentazione, interpretazione e comunicazione del patrimonio architettonico, incentrata sull'utilizzo dei modelli digitali intesi nella loro valenza "interpretativa" (per il loro fondamento scientifico) e "complessa" (in quanto collegati ad un eterogeneo sistema informativo).

La documentazione del patrimonio architettonico rappresenta uno strumento conoscitivo di base, il cui scopo è quello di identificare, descrivere e censire ciò che si definisce "bene culturale"³. Poiché la conservazione del patrimonio storico e artistico non può prescindere dalla sua conoscenza e dal suo studio analitico, la catalogazione, attraverso la raccolta e la sistematizzazione di dati secondo precisi criteri, gioca un ruolo fondamentale nell'attività di tutela e valorizzazione.

La documentazione dell'architettura trova il suo fondamento nel rilievo e nella ricerca archivistica.

Il rilievo, infatti, si inserisce all'interno del percorso di conoscenza e documentazione dell'architettura quale operazione di lettura storico-formale, di cui l'edificio costituisce il "documento". Inteso come indagine dell'organismo architettonico e relativa restituzione grafica, il rilievo contribuisce alla comprensione degli aspetti geometrici, spaziali, storico-formali e tecnico-costruttivi, andando a costituire il presupposto dell'analisi storico-critica.

All'indagine diretta sul monumento costituita dal rilievo, si affianca lo studio e l'interpretazione delle fonti documentali (disegni d'archivio, testi, fotografie storiche, etc.) come fondamentale strumento conoscitivo.

Un ruolo centrale è rivestito dalla modellazione 3D, intesa non solo come sintesi degli esiti della ricerca, ma come strumento di *visual computing*, ossia di elaborazione dei dati e approfondimento delle caratteristiche dei manufatti architettonici.

La natura interpretativa del modello è dovuta al suo legame indissolubile con l'analisi storico-critica: il modello, infatti, si fonda su una valutazione critica dei dati e delle informazioni raccolti.

La tematica dell'analisi e della comunicazione del patrimonio architettonico pone in essere il problema concettuale di quali modelli avvalersi, in relazione alle caratteristiche e alle finalità della rappresentazione: modelli bidimensionali, modelli BIM, nuvole di punti navigabili etc. Si tratta, in ogni caso, di modelli complessi, non solo portatori di informazioni spaziali ma anche correlati ad un eterogeneo sistema informativo.

Qualunque sia il modello digitale complesso che possa essere assunto quale riferimento, infatti, la comunicazione visuale trova fondamento nell'analisi storico-critica delle informazioni (tanto spaziali – rilievo – quanto basate sui documenti archivistici di vario genere). La costruzione del modello 3D – e, quindi, la strutturazione semantica e il livello di dettaglio – richiede di essere condotta specularmente a quella dell'articolazione dei dati informativi.

Il modello non è dunque fine a sé stesso, ma è legato alle caratteristiche e peculiarità del manufatto e agli obiettivi della rappresentazione, in base ai quali è opportuno che assuma delle caratteristiche piuttosto che altre.

Tra le finalità della ricerca vi era, inoltre, l'interpretazione e la comunicazione dei beni architettonici, anche attraverso l'utilizzo di tecnologie digitali avanzate, quali realtà virtuale e realtà aumentata.

Così come affermato dalla *The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites*⁴, l'interpretazione e la presentazione del patrimonio culturale, intese come attività di sensibilizzazione dell'opinione pubblica, miglioramento della sua comprensione e relativa comunicazione, sono parte integrante del processo di conservazione e valorizzazione del patrimonio stesso. In particolare, la ricerca mirava ad indagare le potenzialità offerte dalle nuove applicazioni digitali per la fruizione dell'articolato sistema informativo rappresentato dal modello complesso 3D.

Il presente saggio si articola in cinque capitoli, ognuno dei quali è dedicato ad una delle tematiche attinenti alla documentazione e comunicazione del patrimonio architettonico attraverso l'utilizzo di modelli interpretativi.

Il primo capitolo è incentrato sul rilevamento architettonico, inteso nel suo fondamentale ruolo di strumento conoscitivo dell'edificio. In particolare, vengono analizzati i fondamenti del processo di rilevamento (fasi del rilievo, finalità e caratteristiche dell'edificio, etc.) con una particolare attenzione alle procedure digitali. Viene, inoltre, esaminato il ruolo della restituzione dei dati di rilievo in riferimento alle differenti tipologie di modello restitutivo.

Il secondo capitolo è dedicato ai modelli interpretativi, intesi nella loro duplice accezione di strumenti analitici e sintesi degli esiti della lettura critica operata sul manufatto architettonico.

Viene, dunque, esaminato il rapporto dei modelli con l'analisi storico-critica del patrimonio, in riferimento alle varie tematiche poste in essere: scelta del tipo di

modello rappresentativo; rapporto della rappresentazione digitale con le fonti e questione della trasparenza; gestione dei dati e delle informazioni all'interno del database; utilizzo della modellazione BIM per gli edifici storici; affidabilità (reliability) della ricostruzione digitale.

Il terzo capitolo illustra le potenzialità offerte dalla modellazione digitale per la comunicazione e la valorizzazione dei beni architettonici, attraverso l'ausilio delle applicazioni di mixed reality.

Il quarto capitolo riguarda, invece, la sperimentazione dell'uso di modelli interpretativi per lo studio e la comunicazione di tre casi studio, selezionati tra il patrimonio architettonico dell'Aquila e differenziati tra di loro per caratteristiche e obiettivi della rappresentazione. In particolare, si tratta di un esempio di architettura realizzata, uno riguardante uno spazio architettonico profondamente trasformato nel corso dei secoli e, infine, un esempio di architettura solo "disegnata", ossia mai realizzata.

Il primo caso studio riguarda i portici dei Quattro Cantoni tra il Corso Vittorio Emanuele e via San Bernardino, costruiti rettificando la scomoda orografia del luogo sul finire degli anni '30.

Il secondo caso studio si riferisce all'area del San Bilio, porzione del centro storico a ridosso delle mura urbane contraddistinta da importanti trasformazioni nel corso dei secoli, con la modifica totale della sua configurazione spaziale e delle sue funzioni. L'esempio di architettura non realizzata, infine, è costituito dalla chiesa incompiuta di Santa Margherita a L'Aquila.

Il quinto ed ultimo capitolo è relativo alle conclusioni tratte dalle analisi e dalle riflessioni sviluppate lungo il corso del saggio. Nello specifico, vengono presentate delle considerazioni critiche relative all'utilizzo dei modelli digitali interpretativi per la conoscenza, la documentazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico.

II. Il rilevamento architettonico come processo di conoscenza

2.1. Fondamenti teorico-metodologici del rilevamento architettonico digitale

L'organismo architettonico si configura come un sistema spaziale, costruttivo, formale e decorativo spesso assai complesso, in cui tutti gli aspetti, da quello geometrico a quello tecnico, risultano strettamente dipendenti. La conoscenza di un simile manufatto, dunque, non può fermarsi alla sola osservazione dell'edificio, limitandosi, di fatto, ad un livello superficiale, bensì dovrà occuparsi di sviscerare ed analizzare tutti i caratteri essenziali di un'architettura: spaziali, volumetrici, geometrici, strutturali, etc.

Per conoscere e comprendere veramente un bene architettonico, è indispensabile rilevarlo, vale a dire indagarlo nella sua complessità, cogliendone le caratteristiche formali, spaziali, storiche, tecnologiche e costruttive. Il rilievo architettonico, inteso non come semplice misurazione dell'edificio, ma come operazione complessa di comprensione dei valori storico-formali dell'opera e relativa rappresentazione attraverso modelli interpretativi, si configura come uno strumento fondamentale per una conoscenza profonda dell'architettura esistente.

Il rilievo, infatti, permette di analizzare e registrare le vicende subite da un edificio, di coglierne gli elementi caratteristici e quelli anomali, di evidenziare la morfologia strutturale e le condizioni statiche; a questo scopo, le caratteristiche spaziali e architettoniche vengono tradotte in rappresentazioni critiche del manufatto.

Tali rappresentazioni costituiscono dei modelli della realtà costruttiva esaminata che, pur nella loro eterogeneità (modelli fisici; rappresentazioni grafiche bidimensionali quali piante, prospetti e sezioni; modelli tridimensionali digitali,

statici (*rendering*) oppure dinamici, come animazioni, realtà virtuale e realtà aumentata) sono accumulati dall'essere una semplificazione della complessità del fenomeno oggetto di studio. Sono modelli di "sintesi" dell'oggetto rappresentato che, attraverso l'individuazione degli elementi rappresentativi dell'edificio (discretizzazione dell'oggetto da rilevare), evitano informazioni superflue e ridonanti, ponendo l'attenzione sugli aspetti più di interesse e permettendo, così, il raggiungimento di una conoscenza più profonda dell'edificio¹.

Eseguire un rilevamento architettonico, dunque, indipendentemente dal metodo scelto e dalla finalità per la quale lo si realizza, vuol dire comprendere l'edificio nella sua profondità, cogliendo tutti i valori di cui è portatore.

Il rilievo, pertanto, comprende certamente la presa delle misure degli elementi più rappresentativi dell'edificio, tuttavia va inteso soprattutto come un'operazione di lettura della complessità architettonica, di discretizzazione del continuo architettonico e di conseguente rappresentazione attraverso la realizzazione di modelli, bidimensionali o tridimensionali.

Tali modelli, esito di un processo interpretativo operato dal rilevatore, caratterizzati dai soli elementi riconosciuti come caratteristici dell'edificio, permettono di governare la complessità architettonica in maniera più agevole, favorendo, così, la comprensione del patrimonio architettonico e dei suoi valori.

Il rilievo viene, quindi, a costituire il fondamento dell'indagine sul monumento e della sua analisi storico-critica.

Nel suo significato di processo conoscitivo del bene, il rilievo è influenzato da tre aspetti essenziali:

- Gli obiettivi delle operazioni di rilevamento: sebbene, infatti, il rilievo goda di una sua autonomia disciplinare che lo rende indipendente dalla specifica finalità operativa, l'essere finalizzato ad uno scopo piuttosto che ad un altro richiederà particolari tagli metodologici, indirizzando le scelte verso soluzioni specifiche;



Fig.1 Viste della nuvola di punti del complesso architettonico di San Michele Arcangelo (San Vittorino, L'Aquila), acquisite con laser scanner Leica HDS 6200.

- Le caratteristiche del bene architettonico da rilevare, che giocano un ruolo determinate all'interno dell'intero processo;
- La scala di riduzione: il livello di dettaglio che si vuole raggiungere, ossia la scala di rappresentazione degli elaborati, influirà direttamente sull'intero processo.

Nel caso di restituzioni tridimensionali, perdono di significato le scale di rappresentazione caratterizzanti i disegni 2D, che vengono soppiantate dai livelli di dettaglio del modello².

Le tecnologie di acquisizione massiva per il rilievo (laser scanner 3D e fotogrammetria digitale o fotomodellazione), diffuse negli ultimi anni, hanno portato allo sviluppo di nuove possibilità nell'ambito dell'analisi e della conoscenza del patrimonio architettonico, oltre che a un mutamento del processo di rilevamento³.

Quest'ultimo, ricondotto nell'alveo della scientificità⁴, si articola in tre momenti distinti:

- Il progetto di rilievo, nel quale, in base agli obiettivi, alle caratteristiche del bene e agli strumenti, viene programmato l'intero processo; si tratta di una fase soggettiva legata alla sensibilità del rilevatore;
- L'acquisizione dei dati, vale a dire la presa delle misure che, in quanto tale, costituisce una fase oggettiva che consente di acquisire dati con livelli di incertezza noti;

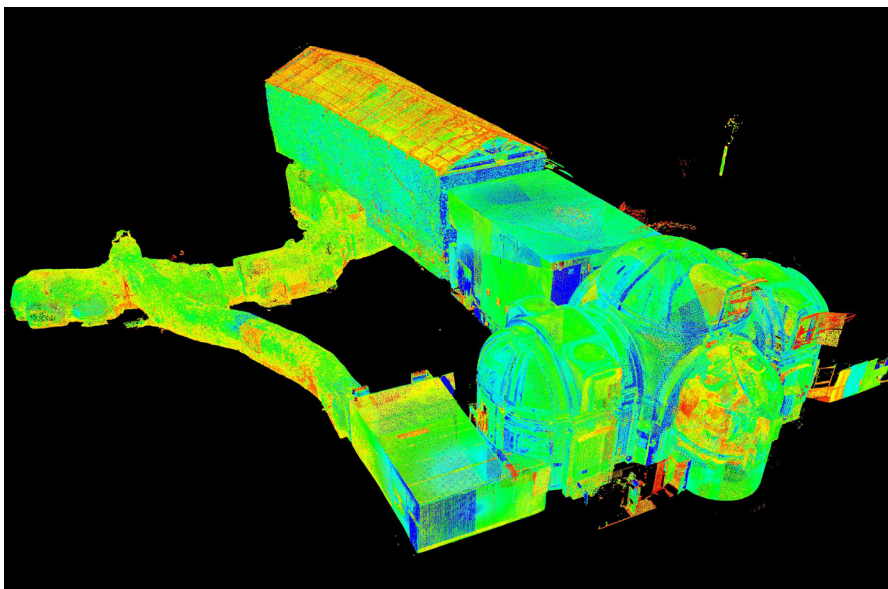


Fig. 2 Chiesa di San Michele Arcangelo e catacombe di San Vittorino (L'Aquila): nuvola di punti.

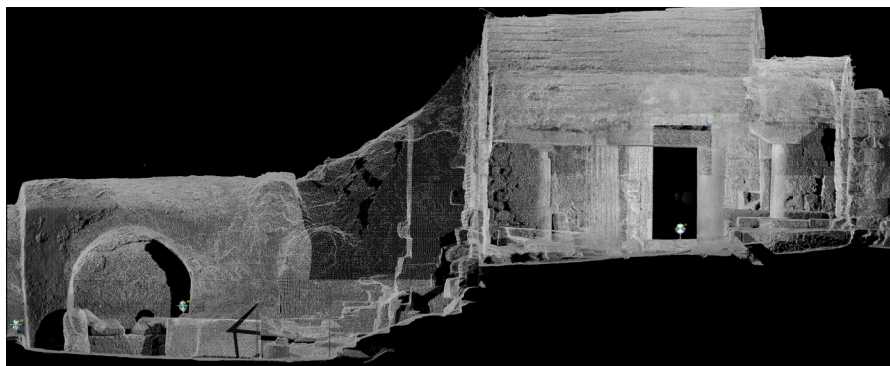


Fig. 3 Catacombe di San Vittorino (L'Aquila): sezione della nuvola di punti.

- La rappresentazione: nuovo momento soggettivo, dipendente dalla sensibilità del rilevatore, volto alla realizzazione del modello restitutivo dell'edificio, bidimensionale o tridimensionale; in base agli obiettivi del rilievo, alla scala di riduzione e alle caratteristiche dell'opera, si opera una sintesi della realtà esaminata (l'edificio), che permetterà comunque la riconoscibilità e l'espressività del manufatto.

L'introduzione di tecnologie di misura automatizzate, quali laser scanner 3D e fotogrammetria digitale, ha prodotto una inversione parziale del processo di rilevamento, riducendo l'apporto critico del rilevatore nella prima fase e demandandolo ad una successiva di post-processing dei dati.

Nell'approccio tradizionale, la prima fase del rilievo consiste nella redazione di eidotipi in cui viene deciso cosa deve essere rappresentato, e quindi misurato, e ciò che può essere tralasciato.

In ragione delle limitate possibilità di acquisizione dati, infatti, va operata preventivamente una selezione dei punti rappresentativi dell'architettura che andranno effettivamente misurati, per poi essere inseriti nel modello restitutivo. Tale fase implica un vero e proprio studio preliminare, nel quale le caratteristiche architettoniche dell'edificio vengono riconosciute e selezionate per essere rappresentate e, quindi, misurate, al fine di discretizzare l'insieme continuo costituito dall'organismo architettonico.

L'individuazione dei punti significativi dell'opera è un'operazione di natura interpretativa, con ampi margini di soggettività.

Le tecnologie di scansione 3D, invece, offrono la possibilità di acquisire un grande quantitativo di dati in tempi piuttosto contenuti, superando le limitate possibilità di misura del processo tradizionale.

Se per quest'ultimo, infatti, il maggior approfondimento dell'indagine sull'edificio comporta, inevitabilmente, un allungamento significativo del tempo consumato - ossia il livello di incertezza della conoscenza è inversamente proporzionale al tempo⁵ -, lo stesso non avviene nel caso del rilievo digitale.

L'analisi preliminare dell'edificio, volta ad individuare cosa misurare, diventa,

quindi, non solo non più necessaria, ma anche superflua, poiché gli strumenti di scansione 3D non consentono di misurare direttamente i punti più significativi dell'edificio. Al contrario, la nuvola di punti costituisce un calco tridimensionale della realtà studiata, risultando estremamente ridondante.

Essa si basa sulla capacità di misurare in tempi brevi un numero altissimo ma indistinto di punti, che il rilevatore, in un secondo momento dovrà esaminare e selezionare.

Le tecnologie di acquisizione massiva, dunque, limitano il progetto di rilievo alla definizione del numero e della posizione delle stazioni di presa, e alle scelte relative alla risoluzione e alla qualità della ripresa.



Fig.4 Chiesa di San Nicola (XIII secolo) ad Arischia (L'Aquila): nuvole di punti acquisite con laser scanner Leica HDS 6200, a cui è stato associato il valore di colore RGB ottenuto tramite panorami sferici.

Ciò significa che la fase interpretativa iniziale del rilievo tradizionale si è ridotta sensibilmente, demandando una più profonda analisi critica al post-processamento dei dati.

Durante la fase di rappresentazione, infatti, i dati acquisiti vengono analizzati ed elaborati. L'operazione di selezione degli elementi significativi del manufatto, che nel rilievo tradizionale veniva effettuata all'inizio, in presenza dell'opera architettonica, nel rilievo digitale viene eseguita nell'ultima fase del processo, direttamente sulla nuvola di punti.

In base alle finalità, alla scala di riduzione (o livello di definizione del modello 3D) e alle caratteristiche del manufatto, l'interpretazione dei dati conduce ad una sintesi della realtà che permette, però, la riconoscibilità e l'espressività dell'opera pur nella semplificazione necessaria per la trasposizione grafica dell'edificio.

Ai fini della realizzazione del modello restitutivo di un bene architettonico, è naturale il ricorso a modalità di rilievo e modellazione differenti, da integrare tra loro.

Ciò diventa evidente nel caso del rilievo e della rappresentazione dei particolari architettonici dell'edificio storico che, spesso relativi all'apparato decorativo, difficilmente sono modellabili secondo le procedure classiche.

La complessità delle forme e le caratteristiche specifiche del particolare architettonico richiedono il ricorso a tecniche di rilevamento e modellazione appropriate, che possono essere di varia natura.



Fig. 5 Nuvola di punti e mesh, con e senza texture: fotomodellazione del portale della chiesa di Santa Maria del Guasto (L'Aquila sec. XV), la cui facciata, nel 1935, viene smontata e rimontata per la chiesa di Santa Maria degli Angeli, fuori porta Napoli.

Punto di partenza per il rilievo del dettaglio è l'accuratezza del dato di rilievo che porta a prediligere tecniche di acquisizione massiva, quali laser scanning e tecniche Structure from Motion.

Le nuvole di punti così generate vengono poi elaborate per ottenere il modello restitutivo che, a seconda delle particolari caratteristiche dell'oggetto di studio, può essere di vario tipo.

Nel caso di forme architettoniche complesse in cui, però, sia riconoscibile una matrice geometrica, la nuvola di punti viene sezionata al fine di individuare le generatrici e le direttrici da impiegare nella rappresentazione tridimensionale.

Quando, invece, non è possibile distinguere tale matrice geometrica, oppure questa risulta eccessivamente articolata rispetto alle finalità della rappresentazione, una interessante alternativa è offerta dalla modellazione indiretta, consistente nell'interpolazione dei punti con una superficie mesh poliedrica.

In tal caso, dunque, per quelle superfici a carattere scultoreo dove non è possibile impiegare geometrie primitive, si preferisce ricorrere all'utilizzo di superfici mesh texturizzate, che consentano di passare dal modello discontinuo della nuvola di punti al modello per poligoni del dettaglio architettonico analizzato, da inserire nel modello complessivo.

Infine, l'accuratezza geometrica, fornita dalla nuvola di punti, può essere preservata nella rappresentazione del particolare architettonico attraverso il ricorso a una modellazione basata su algoritmi NURBS (Non-Uniform Basis Splines), in grado di interpolare i punti della nuvola.

In particolare, attraverso tale metodologia, è possibile creare delle superfici irregolari dall'interpolazione di un contorno chiuso e di curve di sezione, ricavabili facilmente dalla nuvola di punti. Allo stesso modo, la forma architettonica può essere generata interpolando il contorno chiuso con un set di punti di controllo interni appartenenti alla scansione 3D⁶.

L'istanza storica che caratterizza il patrimonio non riguarda solo le superfici architettoniche dell'edificio ma comprende anche l'apparecchiatura costruttiva, espressione della particolare cultura architettonica che l'ha prodotta.

Le tecniche costruttive, inoltre, risultano strettamente correlate agli esiti figurativi del manufatto architettonico. A tal proposito, Arnaldo Bruschi spiega come le strutture e le tecniche costruttive non rappresentino solo una necessità ma, allo stesso tempo, siano in sé stesse parte costitutiva dell'immagine: la "tettonicità" è "carattere distintivo dell'espressività" dell'architettura⁷.

Da tale consapevolezza deriva che un modello scientificamente valido di un bene architettonico non può limitarsi alla sola superficie dell'edificio o, esclusivamente, all'accuratezza geometrico-dimensionale, che costituisce comunque un presupposto fondamentale. Per una comprensione effettiva del bene architettonico nella sua complessità, è necessario andare oltre la conoscenza legata alla sola lettura di ciò che appare ed è visibile, includendo anche la comprensione e la rappresentazione degli aspetti tecnico-costruttivi.

Da ciò discende l'importanza del rilievo strutturale, finalizzato all'analisi ed alla rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva della fabbrica storica, in tutte le sue componenti.

Il rilievo degli elementi costruttivi nelle loro geometrie e nelle loro caratteristiche tecniche e formali, costituisce un'estensione del rilevamento architettonico, offrendosi come aspetto fondante per la documentazione, conservazione e restauro dell'opera.

Si tratta del "rilievo anatomico" di cui parla Centofanti⁸, il quale, muovendo dalla questione della conoscenza dell'apparecchiatura costruttiva, sviluppa inevitabilmente anche il tema della sua rappresentazione, includendo anche l'ambito digitale.

Tradizionalmente, la rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva veniva effettuata attraverso piante e sezioni alle diverse scale e, soprattutto, mediante viste di tipo tridimensionale, ossia spaccati ed esplosi assonometrici che illustravano l'articolazione dei diversi componenti costruttivi.

La diffusione degli strumenti digitali ha offerto nuove possibilità nella rappresentazione degli edifici storici. In particolare, Il Building Information Modeling (BIM) costituisce il primo approccio digitale fondato sulla modellazione 3D del sistema costruttivo. Le potenzialità di tale processo, tuttavia, si scontrano con le attuali criticità del BIM per gli edifici storici, riconducibili, essenzialmente, all'aporia tra la standardizzazione e tipizzazione propria del BIM e l'unicità del patrimonio costruito. A ciò si aggiunge un'ulteriore questione legata alla complessità degli elementi architettonici degli edifici storici, che mal si concilia con la logica BIM basata su una definizione "a strati" dei componenti costruttivi, orizzontali per le chiusure orizzontali e le coperture, verticali per le murature.

Qualunque sia la modalità di rappresentazione, bidimensionale o tridimensionale, la modellazione dell'apparecchiatura costruttiva del patrimonio pone la questione della disponibilità, o meno, di informazioni.

Strumenti operativi del rilievo strutturale sono la campagna diagnostica (da preferirsi le indagini non distruttive e, solo in second'ordine, i saggi distruttivi) e la ricerca archivistico-documentale.

Va evidenziato, tuttavia, che la conoscenza completa ed esaustiva del bene architettonico, cui il processo di rilievo deve tendere anche grazie al rilievo strutturale, rimane spesso inarrivabile proprio per l'incompletezza delle informazioni.

2.2. I modelli restitutivi digitali

Esito del processo conoscitivo costituito dal rilievo, è il “modello rappresentativo complesso” della realtà osservata, frutto delle diverse analisi condotte (ricerca archivistico-documentale, sezioni storico-sincroniche e diacroniche, metrologia, etc.)⁹. Tale modello, risultato di un processo interpretativo operato dal rilevatore, permette di governare la complessità architettonica in maniera più agevole, favorendo la comprensione del patrimonio architettonico e dei suoi valori. In particolare, la modellazione, così come nel disegno tradizionale, si caratterizza per una funzione euristica poiché, mentre si sviluppa il modello, lo si verifica interattivamente, controllando le ipotesi di partenza e precisando l’idea sviluppata inizialmente dell’edificio.

Il modello rappresentativo di architettura può essere di varia natura, spaziando dai tradizionali grafici bidimensionali (piante, sezioni, prospetti, etc.) ai diversi tipi di modello tridimensionale digitale (NURBS, modello solida CSG, BIM, etc.). La scelta di un tipo di modello piuttosto che di un altro è legata alle caratteristiche dell’oggetto di studio e alle finalità della rappresentazione. Il modello di un bene architettonico, infatti, fondato sull’analisi storico-critica dei dati e delle informazioni (tanto spaziali, ossia derivanti dal rilievo, quanto documenti d’archivio), non è fine a sé stesso ma è legato agli obiettivi della rappresentazione e al tipo di bene architettonico, in base ai quali è opportuno che assuma delle caratteristiche piuttosto che altre.

Fondamentale all’interno dell’iter metodologico delle ricostruzioni virtuali è il tema della semantizzazione, fondata sulla scomposizione dell’edificio in elementi costitutivi, riconosciuti nel loro significato, e nella loro riaggregazione all’interno del modello. I metodi di costruzione di un modello architettonico sono riconducibili a due distinte modalità: una modellazione inversa (reverse modeling) ed una diretta¹⁰. La realizzazione di modelli tridimensionali da point clouds conduce a processi di reverse modeling¹¹, ossia procedure di sintesi di dati discreti per generare superfici.



Fig. 6 Workflow per la modellazione del portale di S. Maria del Guasto (L'Aquila):rilievo fotogrammetrico; individuazione della geometria del portale dalla nuvola di punti; modello tridimensionale continuo.

La semantizzazione del modello può avvenire in una fase successiva alla modellazione (semantizzazione a posteriori), attribuendo alle porzioni di superfici modellate uno specifico significato.

La modellazione diretta, invece, riguarda la costruzione degli elementi architettonici digitali che, successivamente, vengono assemblati per costituire il modello complessivo. In tal caso, la semantizzazione costituisce un momento preliminare (semantizzazione a priori) in cui l'edificio viene scomposto idealmente nei suoi elementi costitutivi, che poi vengono ricostruiti nell'ambiente digitale andando a formare il modello tridimensionale¹².

Da notare che la modellazione BIM dell'architettura storica, anche quando si basa sull'utilizzo di point clouds, è del tipo "diretto", ossia segue un processo di scomposizione analitica del costruito, in cui la semantizzazione è parte integrante della modellazione stessa.

Nella maggior parte degli studi portati avanti sino ad ora, la semantizzazione ha riguardato prevalentemente la geometria, come nel caso dei profili delle modanature ricostruiti a partire dai trattati di architettura¹².

Al tema della suddivisione semantica degli elementi architettonici si affianca quello relativo alla costruzione geometrica del modello. Cruciale diviene, dunque, il passaggio dai dati acquisiti (point cloud) al modello restitutivo, durante la fase della rappresentazione.

Il passaggio dal modello numerico al modello continuo può essere effettuato sezionando la nuvola di punti con piani significativi e ricavando dei profili da utilizzare come generatrici e direttrici, oppure da interpolare con una superficie NURBS¹⁴. Tale operazione di estrazione della geometria può essere effettuata all'interno dei software specifici per la gestione di nuvole di punti (es. Cyclone o Scene), oppure direttamente all'interno dei programmi di modellazione dove viene importata la point cloud.

Nel caso, invece, di forme architettoniche piuttosto complesse e articolate, come i partiti scultorei, può essere opportuno approssimare la superficie dell'oggetto reale con una superficie poligonale (mesh) che interpoli parte o tutti i punti della nuvola.

Il modello digitale può essere dunque ricondotto a due diverse tipologie, costituite dalla rappresentazione matematica (o continua) e dalla rappresentazione numerica (o poligonale, o discreta)¹⁵.

La modellazione numerica di una forma geometrica, di un edificio o di qualsiasi altro oggetto tridimensionale, avviene per mezzo di coordinate.

Le superfici vengono quindi descritte in maniera discontinua da un numero limitato di punti, che approssimano in maniera più o meno precisa (a seconda del numero dei punti) l'andamento della superficie stessa.

Nella categoria delle rappresentazioni numeriche rientrano i modelli generati dalle moderne procedure di rilevamento basate sulle tecnologie di acquisizione massiva, come la scansione 3D e la fotogrammetria digitale (o fotomodellazione). L'applicazione di tali metodologie porta alla creazione di nuvole di punti e

modelli mesh (costituiti da poliedri irregolari), ossia modelli numerici della realtà contraddistinti da un apporto critico del soggetto-rilevatore piuttosto parziale, limitato alla definizione del numero e della posizione delle differenti stazioni di presa (scansioni o fotografie).

Attraverso dei software specifici i punti della nuvola vengono interpolati da una mesh, ossia una "rete" di poligoni triangolari che restituiscono la superficie rilevata.

Si tratta, dunque, di un tipo di modellazione che può essere definita indiretta.

A questa si affianca una modellazione di tipo diretto, consistente nel creare una serie di riferimenti (bitmap o vettoriali) da impiegare per la generazione del poliedro complesso. Ad esempio, un modello numerico può essere ottenuto da uno di tipo matematico attraverso l'operazione di tassellazione, ossia di approssimazione del modello matematico con delle mesh.

La rappresentazione numerica può essere per poligoni e per superfici di suddivisione.

Nel modello numerico per poligoni, l'oggetto viene descritto definendone i limiti attraverso un poliedro costituito da poligoni a tre, quattro o n lati (ennagono o n-gon).

Tali poligoni, dunque, rappresentano la frontiera dell'oggetto e, per questo, si tratta di una boundary representation (b-rep).

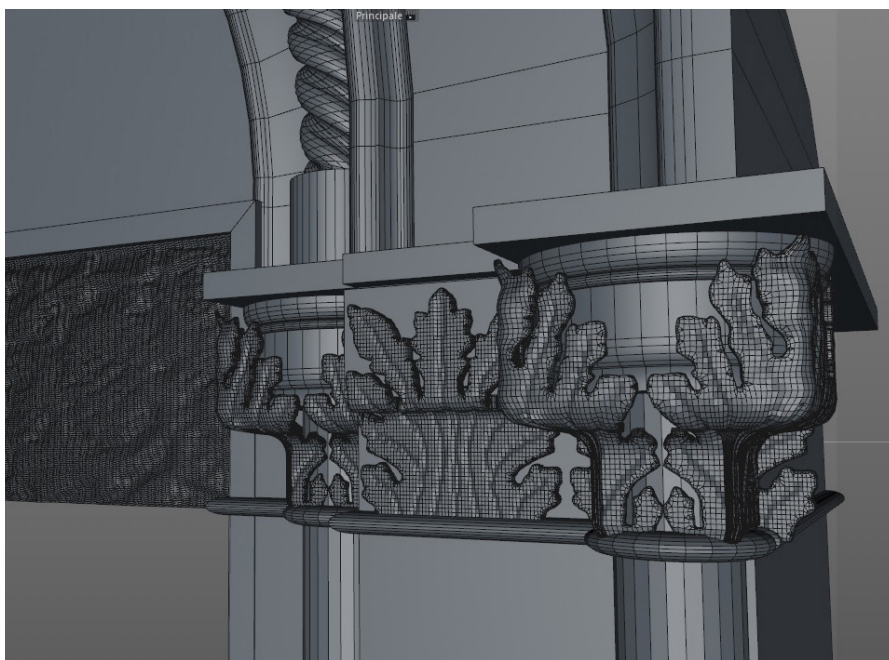


Fig. 7 Costruzione del modello del portale della chiesa di S. Maria del Guasto (L'Aquila).

Affinché si abbia una descrizione mesh efficace, il modello deve avere alcune caratteristiche:

- le normali alle facce dei poligoni devono puntare nella stessa direzione
- i poligoni devono essere connessi tra loro mediante bordi in comune (modello non ambiguo o inequivocabile)
- i bordi non devono connettere tra loro più di due facce (2-manifold).

Le superfici di suddivisione (sub-d), invece, rappresentano una sorta di ibridazione tra la modellazione matematica e quella numerica. La finalità di tale rappresentazione è quella di realizzare superfici dalla morfologia complessa e dall'aspetto continuo e levigato, utilizzando un numero contenuto di elementi di controllo. I poligoni costitutivi della superficie, nel loro insieme, formano la cosiddetta gabbia di controllo (control cage o control mesh), così definita in quanto, modificando la posizione e il numero di vertici del poliedro, si controlla l'andamento della superficie sub-d ad esso associata.

Obiettivo dello sviluppo di tale tecnica rappresentativa era quello di usufruire di uno dei maggiori vantaggi della modellazione matematica, vale a dire il livello di dettaglio variabile (variable LOD) della rappresentazione.

Le sub-d sono frutto dell'applicazione reiterata di un algoritmo di suddivisione ad un poliedro di controllo.



Fig. 8 Modello matematico texturizzato del portale della chiesa di S. Maria del Guasto . oggi Santa Maria degli Angeli (L'Aquila).

Di diversa natura possono essere tali algoritmi: si definiscono primari quelli che portano alla suddivisione dei poligoni, mentre si dicono secondari quelli che lavorano sugli spigoli.

Un ulteriore distinzione per i criteri di suddivisione riguarda il passaggio, o meno, della superficie della mesh nei punti di controllo (algoritmi di tipo interpolante o approssimativo).

L'utilizzo di un tipo di algoritmo di suddivisione piuttosto che un altro, a fronte di caratteristiche comuni, porta a risultati profondamente differenti tra loro.

La modellazione numerica costituisce un passaggio ineludibile nel processo di modellazione anche nel caso di impiego di modellatori matematici. A causa delle limitazioni degli attuali strumenti informatici, infatti, per la visualizzazione del modello la superficie continua deve essere approssimata da poliedri, così da consentire alla scheda grafica di leggerla.

Dalla rappresentazione matematica, dunque, si è costretti a passare a quella numerica attraverso l'operazione di tassellazione. Affinché nella navigazione del modello si ottenga una visualizzazione adeguata senza perdere in fruibilità e gestibilità, è necessario raggiungere il giusto compromesso tra qualità (molti poligoni) e leggerezza (pochi poligoni).

Al contrario della rappresentazione numerica, i modelli matematici descrivono le superfici con continuità, in ogni loro punto, consentendo le operazioni alla base della geometria descrittiva (es. costruzione della curva intersezione di due superfici).

La rappresentazione continua di una forma tridimensionale può essere sviluppata attraverso due modalità differenti: per superfici oppure per solidi.

Nella rappresentazione matematica per superfici, il modello è costruito attraverso le superfici che delineano il suo contorno, le quali, non presentando vincoli reciproci, risultano perfettamente indipendenti le une dalle altre.



Fig.9 Modello continuo dell'insediamento gesuitico all'Aquila: palazzo Camponeschi e chiesa di Santa Margherita.

Ciò significa che, anche se appaiono contigue negli spigoli, non può esservi certezza dell'assenza di discontinuità tra le diverse superfici. Inoltre, essendo separate, tali superfici non racchiudono un volume, quindi non vi è distinzione tra l'esterno e l'interno.

Le curve e le superfici possono essere di due tipi: le analitiche e a poli. Le prime costituiscono una rappresentazione parametrica dipendente da uno o due parametri, a seconda che si tratti di curve o superfici, variabili tra 0 e 1.

Le seconde, invece, consentono di descrivere e controllare forme complesse partendo da alcuni punti, detti poli o punti di controllo.

Le rappresentazioni analitiche (es. linee, coniche, etc.) sono più precise e veloci da calcolare, inoltre, portano con sé un numero di informazioni maggiori (come il centro e il raggio di una circonferenza) rispetto alle curve a poli. Quest'ultime, tuttavia, offrono importanti vantaggi nella definizione e nel controllo della forma, risultando preferibili per la modellazione di geometrie complesse.

Alcuni modellatori affiancano superfici a poli a superfici analitiche, a seconda dell'oggetto da rappresentare; altri software, invece, come ad esempio Rhinoceros, partendo dal presupposto che le curve e superfici a poli (in particolare NURBS) possono soddisfare tutte le necessità, utilizzano esclusivamente tale tipo di descrizione.

Tra le curve e superfici a poli rientrano: le Bézier, le B-spline e le NURBS.

Le curve di Bézier prendono il nome dall'ingegnere francese che le ha definite, il quale era alla ricerca di curve controllabili attraverso dei punti, da impiegare per la progettazione di carrozzerie.



Fig. 8 Modello continuo del Regio Liceo-Convitto-Biblioteca (L'Aquila)(1878-1882).

Le curve di Bèzier utilizzano un polinomio (polinomio di Bernstein) per miscelare i punti di controllo. Poiché tali curve risultavano avere un comportamento troppo globale - vale a dire modificando un solo punto, l'intera curva risentiva del cambiamento - si decise di utilizzare più polinomi anziché uno solo. Nacquero, così, le curve B-spline, che possono essere pensate come n curve di Bèzier attaccate tra loro. Il loro nome deriva dalle funzioni di miscelamento impiegate, chiamate funzioni di base delle spline.

Le NURBS costituiscono la più recente evoluzione delle spline.

Esse sono un ampliamento delle B-spline, resosi necessario per evitare che alcune forme, come le coniche, dovessero essere approssimate a causa della loro impossibilità a essere descritte attraverso un polinomio. L'estensione delle B-spline a rapporti di polinomi (ossia polinomi razionali), in grado di descrivere le coniche, portò alla nascita delle Non Uniform Rational B-spline (NURBS), contraddistinte, per l'appunto, da funzioni di miscelamento razionali.

Le curve NURBS sono curve di interpolazione che passano per dei punti vincolati, caratterizzate dalla possibilità di assumere svariate forme in relazione al peso che i punti di controllo esercitano su di esse. Le superfici NURBS sono costituite da curve NURBS, disposte in fasce perpendicolari (u e v) ed inviluppate in una rete di punti di controllo. Questi ultimi esercitano sulla superficie un'attrazione, la cui intensità è legata al grado della NURBS: più alto è il grado, minore è l'attrazione e viceversa (es. il grado 1 corrisponde alla spezzata).

Le superfici NURBS racchiudono in un'unica famiglia, composta da diversi algoritmi, sia le forme tradizionali trattate dalla geometria classica che forme nuove, molto più articolate, che difficilmente sarebbero controllabili attraverso dei modelli grafici tradizionali.

Per tal ragione, le NURBS si prestano particolarmente alla modellazione delle cosiddette forme complesse, vale a dire quelle superfici che non sono a forma analitica (es. piani, cilindri, coni, etc.), ma a forma libera (freeform).

Lo sviluppo delle curve e superfici a poli e, in particolare, delle NURBS ha consentito, dunque, una significativa implementazione delle capacità dei modellatori nella rappresentazione di forme architettoniche complesse, dalla matrice geometrica non facilmente identificabile, come ad esempio quelle inerenti alle irregolarità degli edifici storici¹⁶.

Nella rappresentazione continua per solidi, il modello è costituito da una descrizione matematica di superfici che delineano un volume.

Gli approcci alla modellazione solida sono di tre differenti tipi:

- rappresentazione a enumerazione spaziale
- rappresentazione CSG (Constructive Solid Geometry)
- rappresentazione B-rep (Boundary representation)

Nel sistema a enumerazione spaziale il solido è descritto da una suddivisione dello spazio tridimensionale in elementi uguali, che possono appartenere o meno all'oggetto modellato.

La suddivisione più semplice è quella in cubi di dimensione fissa predefinita,

definiti voxel per analogia ai pixel di cui si compongono le immagini.

Avere dei volumi elementari tutti uguali comporta che, al fine di una rappresentazione soddisfacente, sia necessario un numero elevato di voxel.

I modelli octree, invece, impiegano degli elementi di dimensione variabile. Essi si fondano sulla suddivisione ricorsiva dello spazio in 8 cubi: gli elementi pieni e quelli vuoti vengono letti, rispettivamente, come parte del solido o non, mentre i blocchi semipieni continuano ad essere suddivisi in 8. In questo modo la dimensione dei cubi si adatta alla forma geometrica, impiegando molti elementi solo dove necessario, con un notevole risparmio di memoria rispetto al voxel.

Nella rappresentazione CSG (Constructive Solid Geometry) il modello viene costruito a partire da primitive solide (cubo, prisma triangolare, sfera, cilindro, cono e toro) che vengono combinate attraverso le operazioni booleane di unione, sottrazione e intersezione. I vantaggi di tale procedura risiedono nella certezza che il solido sia chiuso e in una parametrizzazione intrinseca, poiché, essendo il solido descritto da una serie di operazioni memorizzate in una struttura ad albero, modificando un parametro si hanno delle ripercussioni a cascata sull'intero modello. Tuttavia, gli svantaggi della rappresentazione CSG, come la difficoltà nelle visualizzazioni, l'impossibilità nell'eseguire i raccordi e di descrivere solidi non-manifold, hanno fatto sì che questa fosse relegata solo a particolari settori.

Nella rappresentazione B-Rep (Boundary Representation - Rappresentazione della frontiera) il modello è costituito da una descrizione matematica delle superfici della sua frontiera e dalle loro connessioni.

Un solido è, quindi, l'insieme della sua geometria, ossia una descrizione matematica delle diverse superfici, e delle relative relazioni di adiacenza, definite come topologiche. Se la geometria coinvolge le stesse entità presenti nella modellazione per superfici, la topologia ne introduce delle nuove (vertici, spigoli e facce), che delineano la frontiera del solido. Tali entità, attraverso le relazioni di adiacenza, hanno consapevolezza di quali enti abbiano a loro fianco. La differenza tra il concetto di solido CAD (geometria più topologia) e solido generalmente inteso (oggetto chiuso dotato di volume) fa sì che nel disegno computerizzato esistano oggetti dalle configurazioni non assimilabili a solidi che, invece, vengono considerati come tali (es. un solido aperto dello "skin").

Tra i vantaggi della modellazione B-rep vi è: distinzione inequivocabile tra esterno ed interno del solido grazie alla presenza delle normali topologiche delle diverse facce; possibilità di utilizzo di altre operazioni oltre a quelle booleane di unione, sottrazione e intersezione, presenti nelle rappresentazioni CSG; possibilità di gestire solidi non-manifold, vale a dire solidi in cui non è vero che su ogni spigolo incidano due facce (es. pelli aperte).

La rappresentazione b-rep è quella utilizzata da tutti i CAD 3D moderni.

III. I modelli critici interpretativi: uno strumento di conoscenza

3.1. I modelli grafici per lo studio dell'architettura

Al disegno di architettura utilizzato come mezzo di comunicazione dell'idea progettuale, si affianca quello inteso come strumento di lettura e analisi critica dell'opera architettonica.

La cosiddetta "analisi grafica", nata negli anni '50 a Roma per merito del prof. Vincenzo Fasolo, costituisce il primo approccio di natura scientifica all'utilizzo della rappresentazione per lo studio e l'interpretazione del patrimonio architettonico. L'analisi grafica favorisce la comprensione dei valori architettonici degli edifici attraverso l'ausilio del segno grafico "[...] perché questo "disegnare" è un osservare e, quindi, un pensare"¹.

Mario Docci, con l'obiettivo di fondare scientificamente la metodologia dell'analisi grafica, affrancandola dall'empiricità con cui lo strumento del disegno veniva impiegato nel passato, fa ricorso alle teorie dei linguisti e, in particolare, alla corrente dello strutturalismo. Questa si basa sul presupposto che ogni fenomeno analizzato rappresenti un sistema organico e globale, una struttura per l'appunto, in cui i singoli elementi assumono valore funzionale solo in relazione al rapporto con tutti gli altri elementi².

Facendo riferimento a tale metodologia operativa, il disegno può essere inteso come un mezzo critico attraverso cui analizzare l'opera architettonica segmentandola (discretizzandola) nelle sue parti costitutive ed individuandone le relazioni che le legano.

Mediante il disegno, una realtà complessa e difficilmente leggibile, quale un'architettura o uno spazio urbano, viene scomposta in diverse rappresentazioni che, focalizzandosi solo su alcuni aspetti, risultano di più facile lettura. Il disegno, dunque, attraverso delle rappresentazioni parziali del fenomeno studiato, frutto

di una selezione critica, si configura come uno strumento di comprensione attraverso cui analizzare un'idea progettuale oppure spazi architettonici esistenti o mai realizzati. Il disegno diventa così un "metalinguaggio" attraverso cui indagare un altro linguaggio, che è quello architettonico³.

Il Disegno così inteso porta alla creazione di veri e propri modelli interpretativi della realtà. Claude Lévi- Strauss definisce i modelli come "sistemi di simboli che tutelano le proprietà caratteristiche dell'esperienza, ma che, a differenza dell'esperienza, abbiamo il potere di manipolare"⁴.

Il modello consiste in una semplificazione del fenomeno, volta ad esaltarne gli aspetti più significativi e rappresentativi. Nella necessaria riduzione della complessità architettonica operata durante la modellazione, vi è dunque un accrescimento del livello di conoscenza dell'oggetto di studio.

Gli elementi costitutivi del modello risultano legati tra loro dalle stesse relazioni che legano gli elementi dell'oggetto reale, costruendo un'analogia tra modello e fenomeno modellato⁵.

I "modelli grafici interpretativi" facilitano, dunque, la comprensione dei caratteri distintivi dell'edificio, costituendo il fondamento per lo studio, la lettura e l'interpretazione dell'architettura.



Fig. 1. Modello restitutivo del Regio Liceo-Convitto-Biblioteca (1878-1882), lungo Corso Vittorio Emanuele (L'Aquila).

Essi assumono il ruolo di strumenti di analisi utilizzabili sia per il progetto di un'opera che non ha ancora consistenza fisica, sia per il rilievo che, con le sue operazioni di decodifica degli elementi architettonici, contribuisce all'analisi storico-critica di architetture e spazi urbani.

La diffusione del digitale, fenomeno pervasivo e trasversale, ha innescato un processo di modificazione della cultura contemporanea che interessa da vicino, inevitabilmente, anche l'architettura e la sua rappresentazione.

Nelle attività dell'architetto e nella definizione dei suoi metodi operativi, gli strumenti della rappresentazione ricoprono, da sempre, un ruolo chiave.

A riprova dello stretto legame tra strumenti e architettura, Gaiani mette in evidenza come, dal Cinquecento ai giorni nostri, era prassi diffusa tra gli architetti farsi raffigurare assieme ai propri strumenti per disegnare, a sottolineare così l'importanza di questi per l'esercizio della professione. Strumenti che vanno intesi, però, non come semplici dispositivi volti all'espletamento di un'attività meccanica ma, come scriveva Quatremère de Quincy distinguendo tra *outil* e *instruments*, come qualcosa di più nobile, finalizzato "ad operazioni di un ordine più elevato"⁶.

Poiché le strumentazioni hanno da sempre un'influenza diretta sulle relative attività dell'uomo, dunque, la dimensione digitale si ripercuote direttamente sulle modalità attraverso cui realizzare progetti e riprodurre architetture esistenti⁷.

Le tradizionali metodologie di analisi e interpretazione critica dell'architettura, basate sulla costruzione di modelli grafici, si sono arricchite e ampliate con l'avvento delle tecnologie informatiche.

L'introduzione del digitale non ha costituito una semplice sostituzione dello strumento di rappresentazione grafica, con il passaggio dal foglio cartaceo allo schermo di un pc, bensì ha indotto un cambio di paradigma.

Si è, infatti, passati da un modello rappresentativo statico, cristallizzato nella fissità del punto di vista scelto dal disegnatore, ad un modello dinamico contraddistinto da un elevato livello di manipolabilità e interattività, con infiniti punti di vista possibili a disposizione dell'osservatore.

La "prospettiva dinamica interattiva" permette, inoltre, il superamento del limite dell'ampiezza dello spazio inquadrato, proprio della prospettiva statica della tradizione, poiché il quadro segue i movimenti dell'osservatore, consentendo la navigazione del modello digitale⁸.

Tale rivoluzione delle caratteristiche prospettiche, se da un lato ha consentito la nascita e lo sviluppo di applicazioni di realtà virtuale o aumentata attraverso cui esplorare gli spazi architettonici, dall'altro ha prodotto una rimodulazione dell'iter operativo per la produzione delle immagini d'architettura.

La dimensione digitale della rappresentazione ha portato, infatti, ad una separazione netta tra l'atto del disegnare (modellazione) e l'immagine prodotta (*rendering*).

Se nel disegno manuale, la costruzione e la visualizzazione andavano pressoché a sovrapporsi e a confondersi all'interno del processo rappresentativo, l'avvento

del digitale ha generato una cesura tra la fase di modellazione e la rappresentazione finale, frutto di elaborazioni operate attraverso specifici algoritmi. Il differimento nel tempo delle due distinte attività è ancor più accentuato nel caso di operazioni considerevoli di post-processing dell'immagine di sintesi.

Come diretta conseguenza di tale differente articolazione del processo di costruzione della rappresentazione, il termine "modello" ha acquisito differenti accezioni, andando a ricomprendere: il modello 3D digitale; il modello matematico della scena con assegnate le luci, lo sfondo, etc.; il modello rappresentativo di sintesi, ossia l'immagine raster prodotta dal motore di rendering; il modello rappresentativo finale, che può coincidere con il modello di sintesi, oppure essere frutto di ulteriori elaborazioni di post-processing⁹.

La stessa distinzione tra "fare" e "vedere" la si ritrova in ambito strumentale: se nella rappresentazione manuale, le due attività erano unificate all'interno dell'interfaccia del foglio da disegno, con il digitale l'interfaccia della visualizzazione (monitor) è distinta dall'interfaccia di creazione della rappresentazione (mouse, etc.), innescando un'alterazione degli schemi mediatici per il progetto e per il rilievo¹⁰.

Nel disegno tradizionale, un aspetto fondamentale era costituito dalla scala di rappresentazione, la cui scelta era legata alle finalità della rappresentazione e alle caratteristiche dell'opera architettonica. Nella modellazione digitale si ha il superamento del tema della scala di riduzione, la cui valenza critica viene invece affidata al livello di dettaglio: sulla base degli obiettivi della modellazione e delle specificità dell'edificio, viene individuato il livello di definizione da raggiungere nel modello rappresentativo.

Il modello digitale si configura come una simulazione della realtà (e non una acritica mimesi), attraverso cui è possibile indagarla e conoscerla, arricchendo la nostra esperienza molto di più di quanto sarebbe possibile senza la mediazione della visualizzazione¹¹. Tale simulazione non riguarda solo le caratteristiche geometrico-dimensionali dell'edificio, bensì racchiude anche gli aspetti materici, tecnici e i valori storico-architettonici del manufatto.

Grazie alla sua manipolabilità ed interattività, la rappresentazione virtuale ha amplificato le capacità prefigurative proprie dei modelli plastici, offrendosi come strumento di progetto.

Il modello digitale diventa, dunque, una sorta di prototipo virtuale attraverso cui realizzare simulazioni interattive: tramite la capacità di cambiare istantaneamente il punto di vista e di visualizzare in tempo reale le modifiche apportate sull'oggetto, il modello accompagna l'attività creativa consentendo di concepire e prefigurare l'idea progettuale e, allo stesso tempo, di verificarne la plausibilità e l'adeguatezza.

3.2. I modelli digitali per l'analisi storico critica

Aspetto identificativo del patrimonio architettonico è il suo stretto ed indissolubile legame con la storia. Lo studio del processo formativo che ha condotto un bene architettonico all'oggi costituisce, dunque, un aspetto imprescindibile per la sua conoscenza e, quindi, per la sua rappresentazione.

Nel saggio "Autonomia della Storia dell'architettura", Spagnesi scriveva: "Se il fare la "Storia" equivale, sempre, a conoscere, la Storia dell'Architettura non può essere che conoscenza dello spazio fisico costruito dall'uomo, cioè a dire della realtà attuale. Volendosi dunque porre il problema di "conoscere" oggi la "realtà", non si può che analizzare in una successione temporale il verificarsi dei motivi essenziali che l'hanno prodotta, quali di essi ricorrano, e rispetto a quali periodi temporali omogenei della storia delle comunità umane.

Naturalmente, quella che può essere conosciuta è soltanto la "realtà" attuale, quella della contemporaneità, attraverso l'analisi delle cause che l'hanno determinata"¹². Poiché l'unico spazio fisico esperibile da parte dell'uomo è quello della contemporaneità, Spagnesi mette in evidenza che ciò che può essere veramente conosciuto è la "realtà attuale", dunque il manufatto architettonico nella sua configurazione odierna.

Se per conoscere la realtà attuale bisogna indagare "in una successione temporale il verificarsi dei motivi essenziali che l'hanno prodotta", lo studio della storia per i beni architettonici risulta essere finalizzato alla comprensione dei valori del manufatto. Rispetto ai beni archeologici, ambito anch'esso fondato sull'analisi storica e che, per primo, ha intuito le potenzialità delle visualizzazioni digitali, si ha un'inversione del punto di vista: lo studio della storia è rivolto alla conoscenza del passato, in archeologia, del presente, in architettura"¹³.

Per lo studio della storia dell'architettura, Spagnesi individua nel rilievo e nella rappresentazione gli strumenti per la definizione degli "aspetti quantitativi" (forma dello spazio fisico, materiali, articolazione funzionale, etc.).

La definizione degli "aspetti qualitativi", invece, consiste nella realizzazione di "sezioni storiche sincroniche", vale a dire modelli figurativi rappresentanti le motivazioni che hanno determinato, nel corso del tempo, lo spazio attuale.

La conoscenza del bene diventa, quindi, "la sintesi critica dei giudizi riferiti ai singoli momenti storicamente riconosciuti"¹⁴.

Per Bruschi, la conoscenza di un manufatto "si configura innanzitutto come comprensione storica e coscienza critica, di un'architettura"¹⁵. Tale comprensione si fonda sulla ricerca filologica, interpretandola criticamente attraverso il confronto di dati e le analisi sincroniche e diacroniche.

Per la conoscenza del patrimonio architettonico e dei suoi valori, quindi, risulta fondamentale la ricostruzione degli avvenimenti che lo hanno condotto ad assumere la conformazione attuale.

In altre parole, per l'analisi storico-critica dei beni architettonici diventa fondamentale la realizzazione dei modelli sincronici e diacronici.



Fig. 2. Ricostruzione virtuale dell'area antistante il monastero di San Basilio, a L'Aquila, nel XX secolo.

Il modello rappresentativo si pone come medium tra il fenomeno esaminato e il soggetto che osserva, ovvero come “interfaccia” tra il rilevatore e l’opera architettonica analizzata.

La rappresentazione digitale del patrimonio architettonico, quindi, non è da intendersi come semplice visualizzazione degli esiti dello studio che lo ha interessato, ma come parte integrante del processo di analisi stesso.

Il bene architettonico si caratterizza per essere un particolare prodotto del fare umano, distinto dagli altri edifici in quanto portatore di valori storici e/o estetici¹⁶.

Esito di processi di modificazione e stratificazione avvenuti nel corso del tempo, dettati dalle esigenze legate alle specifiche istanze di utilizzo, è espressione delle culture costruttive succedutesi nei secoli. Un bene architettonico va inteso quale sistema complesso, sintesi di spazi, volumi, superfici, materiali, illuminazione, apparecchiatura costruttiva, fasi storiche, etc. A ciò va aggiunto lo stretto connubio con il contesto, elemento caratterizzante lo specifico architettonico.

Per le sue caratteristiche intrinseche, lo studio del patrimonio architettonico costituisce un articolato processo di conoscenza dell’edificio comprendente una vasta quantità di dati ed informazioni eterogenee, la cui analisi e correlazione è favorita dalla realizzazione di modelli digitali. Per tale ragione, la modellazione tridimensionale è riconducibile al Visual Computing, tecnica di elaborazione dei dati basata sulla loro rappresentazione visuale, attraverso cui derivare informazioni e creare nuova conoscenza¹⁷.

Durante il processo di modellazione, l’oggetto architettonico viene esaminato nei suoi aspetti costitutivi, che poi vengono tradotti in elementi digitali tridimensionali. Lo studioso, modellando l’edificio, ne analizza le caratteristiche architettoniche, spaziali, tecniche, materiche ma anche gli aspetti legati alle vicende architettoniche e costruttive e alle modificazioni avvenute nel tempo, arrivando così a comprenderne i valori storici ed artistici.

Il modello 3D va dunque inteso come strumento visuale di studio e analisi delle caratteristiche architettoniche e, al contempo, di verifica delle ipotesi e delle ricerche condotte sul patrimonio architettonico.



Fig. 3 Ricostruzione virtuale del progetto non realizzato del tribunale su piazza Palazzo, a L'Aquila.

La modellazione digitale, così come il disegno in generale, si contraddistingue per la sua natura euristica, in quanto ciò che viene rappresentato, bidimensionalmente o tridimensionalmente, è l'idea che lo studioso ha dell'edificio o dello spazio urbano esaminato, che va continuamente verificata attraverso il confronto con la realtà fenomenica.

La rappresentazione, dunque, si configura come un processo iterativo costituito dal susseguirsi di ipotesi e validazioni, ossia di disegno e comparazione della visualizzazione con la percezione della realtà studiata¹⁸.

Percezione che non è rimasta univoca nel corso del tempo, ma è variata con l'introduzione di nuovi strumenti tecnologici.

Se prima, infatti, la realtà era percepita solo attraverso i sensi, oggi sono disponibili raffinati strumenti d'indagine che, tuttavia, non garantiscono comunque una presunta oggettività dell'osservazione. Per quanto lo sviluppo tecnologico abbia portato ad un miglioramento dei mezzi percettivi impiegati, l'"assoluta oggettività ontologica" è da considerarsi puramente teorica in quanto "ciò che prevale nell'osservazione scientifica non è tanto la realtà in sé quanto la percezione che noi abbiamo di essa".

Nel processo iterativo di costruzione del modello rappresentativo, quindi, non è l'oggetto in sé ad essere preso come termine di confronto per la rappresentazione, bensì il suo manifestarsi all'osservatore attraverso la mediazione della percezione.

Da ciò discende che lo stesso oggetto studiato e misurato è un fenomeno privo del valore di assolutezza e, quindi, a maggior ragione la sua rappresentazione è da considerarsi relativa e soggettiva. L'idea di una perfetta coincidenza tra realtà e rappresentazione, dunque, è puramente illusoria poiché, per quanto verosimile, una rappresentazione è soltanto una relativizzazione del fenomeno studiato. Il modello rappresentativo, a partire da quello più astratto e simbolico per arrivare fino a quello con un elevato grado di iconicità, non è una trascrizione completa ed esaustiva delle caratteristiche dell'oggetto di studio, ma piuttosto una selezione critica di queste, operata in funzione delle finalità della rappresentazione e delle specificità dell'oggetto architettonico.

Se da un punto di vista superficiale ciò può apparire come una riduzione ed un impoverimento della realtà, dal punto di vista metodologico, la modellazione di un fenomeno costituisce un fondamentale strumento di decodifica degli aspetti costitutivi e di comprensione delle qualità architettoniche.

Si tratta, infatti, di una semplificazione della complessità architettonica attraverso cui mettere in luce gli aspetti significativi dell'edificio, con l'obiettivo di favorirne la lettura e l'interpretazione critica.

Il processo di costruzione del modello rappresentativo di un edificio storico consiste in una sintesi critica dei dati disponibili, derivanti dal rilievo architettonico e dall'analisi dei documenti d'archivio.

La natura interpretativa del modello impiegato per lo studio del patrimonio architettonico risiede proprio nel suo legame indissolubile con l'analisi storico-critica, fondata sulla valutazione critica delle informazioni.

La rappresentazione di un dato fenomeno (un edificio storico) non è mai univoca poiché risente dell'operazione critica, soggettiva, di selezione degli elementi rappresentativi dell'edificio e delle misure da effettuare.

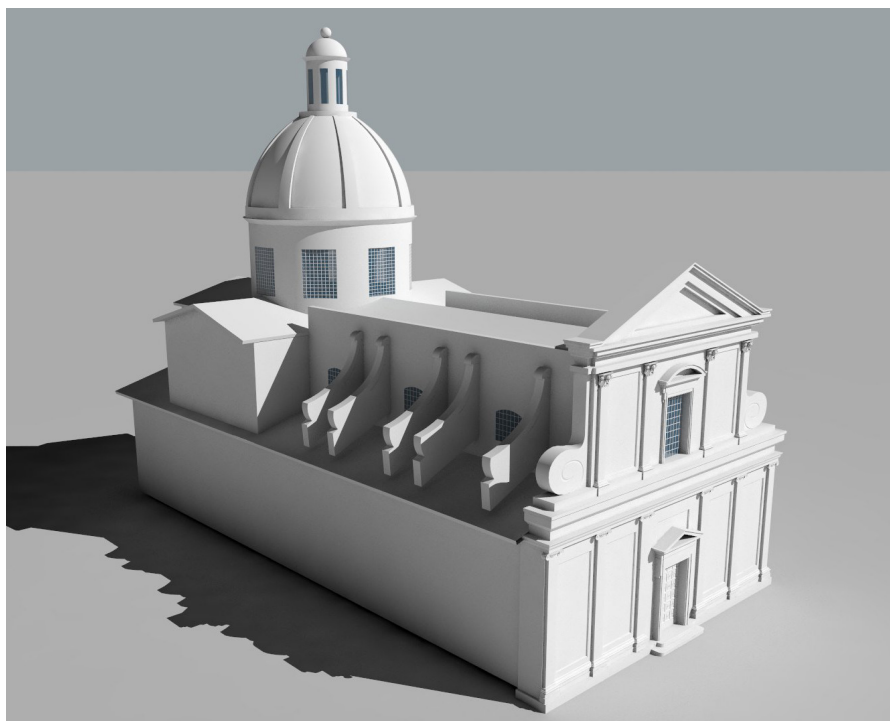


Fig. 4 Ricostruzione virtuale della chiesa incompiuta di Santa Margherita (AQ) secondo il progetto di Agazio Stoia (1625): nella chiesa attuale mancano la cupola, il transetto, l'abside e il rivestimento lapideo della facciata.

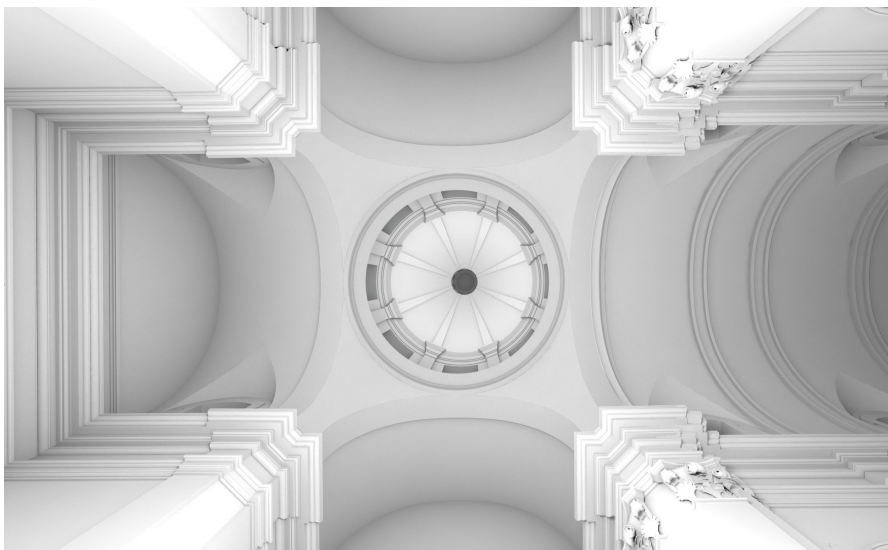


Fig. 5. Chiesa di Santa Margherita nella configurazione di progetto mai completata: vista dal basso della volta a botte lunettata dell'abside e della cupola mai realizzata.

Il soggetto rilevatore, dalla cui sensibilità e cultura dipendono le proprie scelte e quindi la restituzione del manufatto, interpreta criticamente le qualità dell'oggetto architettonico, di cui il modello rappresentativo diviene una "misura"¹⁹.

Il modello rappresentativo costituisce parte integrante della conoscenza di un edificio e, allo stesso tempo, diviene esso stesso "testo autonomo passibile di ulteriori analisi e interpretazioni"²⁰.

Espressione del contesto storico-culturale che lo ha prodotto, il modello si configura, dunque, come documento da studiare ed analizzare a sua volta, utile ad evidenziare ed esaminare particolari aspetti dell'edificio, la cui comprensione è favorita dalla lettura critica effettuata in quel dato momento storico.

La conoscenza della "natura dei modelli" interpretativi consente il loro utilizzo consapevole per lo studio e la documentazione del patrimonio architettonico, ambito in cui stanno assumendo un ruolo sempre più rilevante: da immagine rappresentativa di una percezione visiva della realtà, a "modello complesso", ossia modello manipolabile, interattivo, collegato ad un eterogeneo sistema di informazioni la cui navigazione è favorita dall'interfaccia grafica tridimensionale. Vanno, infine, ricordate le opportunità offerte dai modelli digitali in ambito progettuale: in riferimento al legame speculare tra conoscenza e restauro, basato sulla comprensione critica dei valori architettonici, i modelli possono divenire strumenti di elaborazione, prefigurazione e validazione del progetto di restauro. Con la diffusione del digitale, il modello tridimensionale si è affermato, sempre più, come mezzo attraverso cui indagare e studiare il patrimonio architettonico.

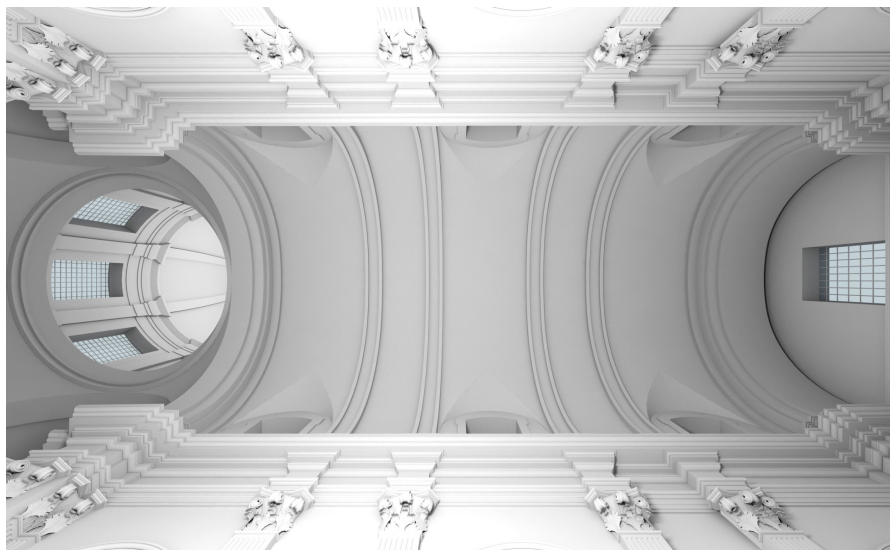


Fig. 6. Chiesa di Santa Margherita nella configurazione di progetto mai completata: vista dal basso della volta a botte lunettata dell'aula.

Affinché, tuttavia, il modello digitale rientri a pieno titolo tra gli strumenti di analisi della ricerca sul patrimonio, è necessario che esso abbia quel carattere di scientificità proprio dei metodi di ricerca consolidati.

In altre parole, il modello rappresentativo e la procedura che ne ha permesso la creazione devono possedere le caratteristiche proprie del metodo scientifico. Secondo la moderna epistemologia, che trova nelle teorie di Karl Popper uno dei principali riferimenti, non è possibile provare la veridicità di un'affermazione ma solo la sua falsità, quindi una asserzione è "vera" fin quando non viene dimostrato sperimentalmente che non lo sia.

Secondo Popper, dunque, la scientificità di una teoria risiede, nella possibilità di effettuare esperimenti atti a fornire l'eventuale prova della sua falsità.

Applicare il "principio di falsificazione"²¹ ai modelli interpretativi architettonici, affinché venga garantita la loro valenza scientifica, comporta che il loro processo di elaborazione sia metodologicamente fondato e che questo venga reso noto, offrendo la facoltà di replica ad altri studiosi²².

Si pone, quindi, un problema di dichiarazione delle fonti impiegate per la realizzazione del modello, e della possibilità di ricostruire filologicamente le scelte effettuate in relazione a queste.

La necessità di principi metodologici condivisi evidenziata dalla diffusione delle rappresentazioni digitali, ha portato, dopo una lunga gestazione, alla stesura de "la Carta di Londra per la visualizzazione digitale dei beni culturali" (2009).

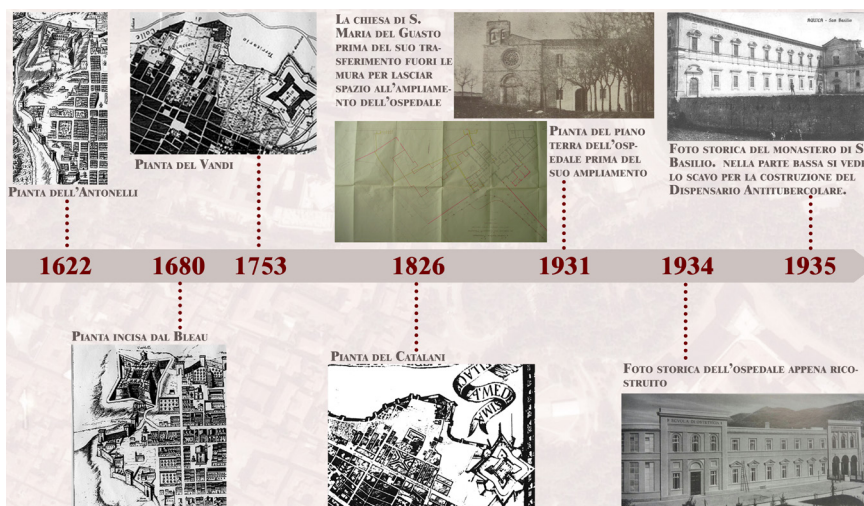


Fig. 7. La trasparenza delle visualizzazioni digitali: le fonti delle informazioni che hanno sostanziato le ricostruzioni virtuali delle fasi storiche dell'area del San Basilio, a L'Aquila.

Hugh Denard, analizzando La Carta di Londra, sottolinea come “anche se per certi scopi la visualizzazione può superare un testo in potenza espressiva, il suo valore esplicativo può essere inferiore.

Non importa con quanta cura una questione di ricerca si ponga in relazione al relativo campo di conoscenza, quanto scrupolosamente le fonti disponibili siano state studiate e interpretate, con quanto discernimento o creatività un argomento venga elaborato visivamente; per lo spettatore, un'immagine finita, da sola, non rivela il processo con il quale è stata creata”, ed ancora: «L'opacità empirica dell'immagine sincrona, allora, è il pericolo che rischia di isolare le visualizzazioni dal significato delle discussioni disciplinari. Per una visualizzazione del patrimonio cui abbinare il rigore della ricerca convenzionale, tale rigore deve essere visibile»²³.

In considerazione dell'“opacità” della visualizzazione digitale, La Carta auspica “[...] che i risultati di ricerche che includono la visualizzazione digitale debbano far pervenire agli utenti lo stato dell'arte, come ad esempio la distinzione tra evidenza e ipotesi e tra differenti livelli di probabilità”²⁴.

In altre parole, è necessario che la visualizzazione digitale dei beni culturali abbia il requisito della “Informazione sulla trasparenza”, ossia: “L'informazione, attuata in qualsiasi mezzo o formato, che permette agli utenti di capire la natura e gli scopi del prodotto di una rappresentazione digitale e l'asserzione di conoscenza che porta”²⁵.

Al fine del perseguimento del rigore scientifico e intellettuale della visualizzazione digitale, la Carta individua 5 principi: “scopi e metodi”, “fonti della ricerca”, “documentazione”, “sostenibilità” e “accessibilità”. A questi ne va aggiunto un

altro, il principio di “implementazione, riferito alla necessità che le diverse comunità scientifiche sviluppino e declinino i principi generali della Carta secondo le proprie esigenze e specificità.

Strumento fondamentale per la “documentazione del processo” e, quindi, per il raggiungimento della trasparenza sono i paradata, definiti da La Carta di Londra come «le informazioni riguardanti i procedimenti umani del capire ed interpretare i dati stessi (i paradata vengono in tal modo continuamente creati senza essere sistematicamente registrati o divulgati.)

Esempi di paradata includono metodi di registrazione di note in un rapporto di laboratorio, descrizioni immagazzinate all'interno di un archivio strutturato che dimostra come l'evidenza sia stata usata per interpretare un manufatto, oppure un commento sulle premesse metodologiche all'interno di una ricerca pubblicata. È molto simile (ma in qualche modo diverso quanto all'enfasi) a “metadati contestuali”, i quali tendono a comunicare interpretazione di un artefatto o di una collezione, piuttosto che il processo attraverso il quale uno o più artefatti sono processati o interpretati.”²⁶.

I paradata, quindi, documentano il processo interpretativo su cui si fonda la modellazione, costituendo una sorta di spiegazione delle scelte effettuate²⁷.

Al fine di assicurare la trasparenza della visualizzazione digitale, per Brusaporci sono fondamentali la dichiarazione delle fonti su cui è basata la costruzione del modello, sia dal punto di vista architettonico che costruttivo, e la descrizione della loro interpretazione critica (paradata estrinseci); a ciò si unisce l'importanza delle informazioni inerenti al processo di modellazione dal punto di vista strumentale (paradata intrinseci)²⁸.

La prima a recepire e far proprie le indicazioni della Carta di Londra è stata l'archeologia virtuale, attraverso la redazione de I Principi di Siviglia (2012).

The Principles of Seville, introducendo la “Scientific Transparency”, affermano che: «All computer-based visualization must be essentially transparent, i.e. testable by other researchers or professionals, since the validity, and therefore the scope, of the conclusions produced by such visualization will depend largely on the ability of others to confirm or refute the results obtained»²⁹.

Tutte le visualizzazioni digitali si fondano su numerose ricerche e informazioni che, ai fini di una rigorosa scientificità, devono essere raccolte e presentate in maniera trasparente. Viene, quindi, sottolineata la necessità di consentire la testabilità della visualizzazione da parte degli altri studiosi attraverso la presentazione in maniera trasparente dell'intero processo elaborativo (methodology, techniques, reasoning, origin and characteristics of the sources of research, results and conclusions) e l'organizzazione dei metadata e dei paradata.

Le riflessioni maturate in campo archeologico risultano particolarmente utili, poiché molteplici sono gli ambiti di sovrapposizione tra archeologia e architettura a proposito dei temi del rilievo e della modellazione 3D.

Ciononostante, l'architettura presenta delle specificità che rendono necessarie delle riflessioni dedicate, atte a sviluppare delle linee guida che tengano conto

delle peculiarità disciplinari dei beni architettonici e della città storica. Molteplici sono i contributi scientifici che vanno in tale direzione³⁰.

A ciò si aggiunge il rapporto con le fonti storiche e documentarie, sulla base delle quali vengono effettuate ricostruzioni virtuali di edifici e configurazioni non più esistenti o mai realizzate. Il rapporto della rappresentazione digitale con tali fonti, inteso non solo come loro dichiarazione ma anche come processo interpretativo operato sulle fonti stesse, costituisce, quindi, un presupposto imprescindibile per l'utilizzo dei modelli digitali per l'analisi storico-critica del patrimonio architettonico.

Diversi sono i fattori che influenzano e determinano la modellazione per l'analisi storico-critica di un bene architettonico.

Analogamente a quanto avviene nel rilevamento architettonico, la modellazione di un edificio storico dipende dalle sue caratteristiche architettoniche, dagli obiettivi della modellazione e dal livello di dettaglio che si vuole raggiungere (nel rilievo abbiamo, invece, la scala di rappresentazione).

A seconda delle finalità del suo impiego, il modello rappresentativo può avere differenti accezioni. Ai modelli predittivi (modelli di progetto di una nuova opera ma anche di un intervento sull'esistente), nel caso del patrimonio architettonico, si affiancano:

- i modelli restitutivi, esito di un processo di analisi e conoscenza dell'esistente fondato sul rilevamento;
- i modelli ricostruttivi di una realtà mai esistita perché frutto di un'intenzione progettuale mai concretizzatasi, oppure di una non più esistente in quanto appartenente ad una fase storica precedente³¹.

La tipologia di modello rappresentativo (ricostruzione di configurazioni perdute o mai realizzate o analisi dell'esistente) orienterà la scelta verso un tipo di rappresentazione tridimensionale piuttosto che un altro. A ciò si aggiungono gli obiettivi della modellazione: una rappresentazione volta al rilievo geometrico-dimensionale dell'edificio oppure all'analisi del degrado macroscopico superficiale, o ancora pensata per fini divulgativi, richiederà un taglio differente.

Allo stesso modo, le peculiarità dell'oggetto di studio influenzano direttamente la strategia di rappresentazione. Ruedi di età classica, palazzi rinascimentali o chiese barocche pongono istanze diverse perché diversi sono i valori e le specificità che presentano. Conseguentemente, il modello interpretativo deve tener conto di tali caratteristiche, esprimendole e rappresentandole nella maniera più efficace.

Infine, se il rilevamento architettonico era influenzato dalla scala di rappresentazione, la modellazione di un edificio storico è strettamente dipendente dal livello di dettaglio (LoD) che si vuole ottenere. Il livello di definizione del modello, infatti, determinerà l'intero processo di costruzione della rappresentazione, a partire dal rilievo per arrivare fino alla tipologia del modello restitutivo.

La scelta di un tipo di modello, dunque, deve essere frutto di una valutazione

critica che tenga in considerazione gli obiettivi (es. ricostruzione digitale di un'architettura solo disegnata oppure la documentazione di un edificio storico), le peculiarità dell'oggetto di studio (es. rudere o edificio razionalista) e del livello di dettaglio del modello (es. dettaglio elevato della rappresentazione finalizzata alla conservazione o al restauro del bene, oppure un dettaglio inferiore di una ricostruzione digitale di una fase storica precedente).

Sulla base di tale valutazione critica, si adotterà un tipo di rappresentazione piuttosto che un altro, scegliendo tra la modellazione numerica e quella matematica, tra la modellazione parametrica e i sistemi informativi 3D GIS o BIM, etc.

Per quanto riguarda la rappresentazione del patrimonio architettonico, i modelli matematici, permettendo una descrizione continua delle superfici architettoniche, sono particolarmente utili per la rappresentazione di configurazioni storiche andate perdute nel corso dei secoli o mai realizzate, ricostruite dall'analisi dei documenti e dal rilievo dello stato attuale.

Viceversa, i sistemi di informazioni gestiti in uno spazio grafico tridimensionale, come le piattaforme 3D GIS e BIM, offrono la possibilità di documentare il manufatto architettonico attraverso un archivio interattivo ed interoperabile, che si spinge oltre l'aspetto puramente geometrico-dimensionale. In particolare, il BIM, attraverso un processo di semantizzazione basato sugli elementi architettonici, consente di rappresentare e documentare l'apparecchiatura costruttiva dell'edificio in maniera diretta e, quindi, più efficace.

La modellazione numerica, invece, si presta particolarmente per quegli oggetti di studio non caratterizzati da una evidente matrice geometrica. L'assenza di tale matrice, tipica dei partiti scultorei per i quali si utilizzano sovente modelli mesh (provenienti da fotomodellazione) ad integrazione di modelli matematici, si ritrova anche in alcune tipologie di beni architettonici. Resti archeologici o edifici gravemente danneggiati, per le loro caratteristiche intrinseche, rendono la rappresentazione numerica preferibile agli altri tipi di rappresentazione, perché più in grado di adattarsi alle specificità del manufatto architettonico.

Nel caso, infatti, di edifici fortemente degradati e danneggiati, o addirittura ridotti a rudere, la modellazione per punti o per mesh si presta particolarmente alla rappresentazione dell'irregolarità delle superfici architettoniche.

Un bene architettonico riconducibile a tale tipologia di oggetto di studio è costituito dalle catacombe di San Vittorino che, scavate sul colle che domina i resti della città romana di Amiternum, nell'omonima frazione del comune dell'Aquila, costituiscono il più importante impianto cimiteriale paleocristiano dell'Abruzzo³². L'area, probabilmente già adibita ad uso sepolcrale prima dell'arrivo dei cristiani³³, venne certamente utilizzata come cimitero dopo la realizzazione della tomba del martire³⁴, la cui prima sistemazione è databile entro il IV secolo d.C. Le catacombe appartengono al complesso architettonico del santuario di San Vittorino, composto dalla chiesa a navata unica articolata nei due corpi, separati da un muro, della "chiesa vecchia" e della chiesa di San Michele Arcangelo, l'unica oggi officiata.

A pianta longitudinale con transetto sporgente, la chiesa si caratterizza per una evidente piegatura del suo asse verso est ed un allargamento della parte settentrionale della cosiddetta chiesa vecchia.

Le catacombe di San Vittorino si trovano al di sotto della chiesa vecchia e, in parte, oltre il suo perimetro, verso ovest. L'accesso è consentito dal transetto della chiesa di San Michele Arcangelo oppure dal fondo della chiesa vecchia.

Obiettivo dello studio era la documentazione e la comunicazione dei valori storici ed architettonici delle catacombe di San Vittorino, chiuse ed inaccessibile per la maggior parte del tempo.

L'irregolarità delle superfici, scavate nella roccia calcarea oppure ricavate da grotte e cunicoli naturali del colle, non rende possibile l'individuazione di una matrice geometrica evidente. Tale aspetto, insito nella natura del bene architettonico in questione, pone la necessità di specifiche riflessioni nella scelta del modello rappresentativo più opportuno.

In considerazione delle difficoltà o della scarsa rappresentatività di un modello matematico, esito di inevitabili approssimazioni, si è scelto di ricorrere alla modellazione per coordinate di tipo numerico, quindi ad una nuvola di punti o ad un modello mesh.

La chiesa e le catacombe sottostanti sono state rilevate attraverso l'ausilio di un laser scanner a differenza di fase Leica HDS6200, caratterizzato da un campo visivo completo (FOV) di $360^\circ \times 310^\circ$.

Nella scelta dei punti di stazione e della risoluzione di ripresa, si è tenuto conto delle caratteristiche geometriche e dimensionali degli spazi da rilevare, con

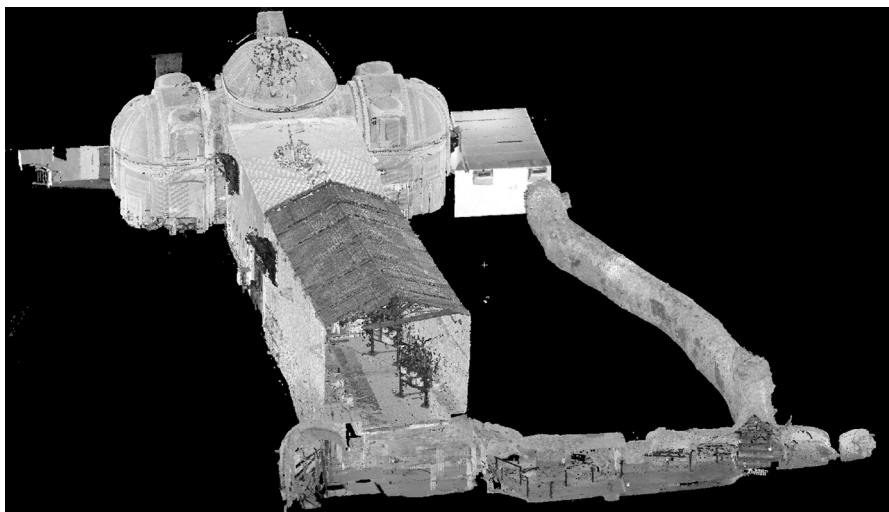


Fig. 8. Chiesa di San Michele Arcangelo con le sottostanti catacombe di San Vittorino: modello numerico.

l'obiettivo di ottenere una point cloud quanto più omogenea possibile, con zone d'ombra ridotte al minimo.

Complessivamente sono state realizzate 46 scansioni così ripartite: 6 scansioni nella chiesa vecchia; 9 all'interno delle catacombe; 2 nel passaggio di collegamento tra catacombe e chiesa; 8 dentro la chiesa di San Michele Arcangelo; 21 all'esterno del complesso architettonico.

Il livello di risoluzione adottato è quello alto (corrispondente a un incremento di angolo azimutale e zenitale di $0,036^\circ$ e una densità di punti di 1,59 cm a 25 m) per tutte le scansioni, fatta eccezione per quelle effettuate all'interno delle catacombe, per le quali, date le dimensioni ridotte, si è scelta una risoluzione media (incremento di angolo azimutale e zenitale di $0,072^\circ$ e una densità di punti di 3,14 cm a 25 m). Le singole scansioni sono state unite tra loro - all'interno del software Leica Cyclone - utilizzando prevalentemente procedure di riconoscimento automatico dei target mobili.

Per il collegamento tra esterno e interno, si è proceduto con operazioni di registrazione manuale, consistenti nell'individuazione di una serie di punti omologhi tra le due point cloud. Tale procedura, meno precisa della prima, è stata resa necessaria dalla realizzazione delle scansioni interne ed esterne in due giornate differenti.

Ai dati metrici della nuvola di punti, infine, è stato aggiunto il valore di colore RGB ottenuto da panorami sferici realizzati, per ciascuna scansione, attraverso un kit camera esterno al laser scanner.

Attraverso i software CloudCompare, successivamente, i punti della nuvola sono stati interpolati da una mesh, ossia una "rete" di poligoni triangolari che restituiscono la superficie rilevata, secondo un processo di modellazione indiretta. Si è così ottenuto il modello numerico delle catacombe, discontinuo (per punti) o continuo (per mesh), quale strumento per la documentazione e comunicazione del monumento più adatto ad esprimerne i valori architettonici.

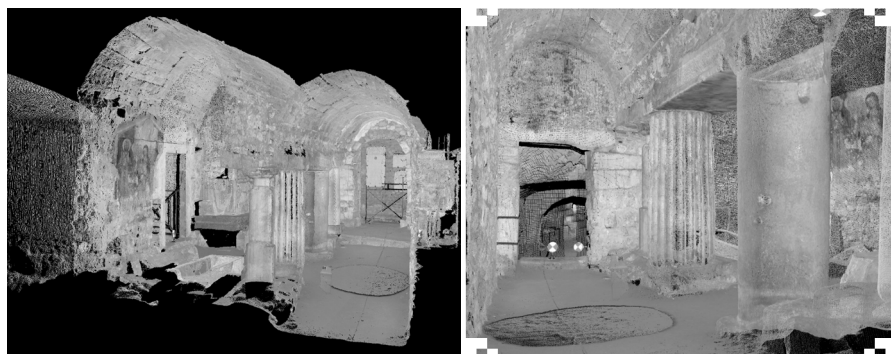


Fig. 9. Viste interne della nuvola di punti delle catacombe di S. Vittorino (L'Aquila).

3.3. *Modelli 3D e database*

La conoscenza e la documentazione del patrimonio architettonico richiedono la gestione di un grande quantitativo di dati di varia natura, riguardanti i molteplici aspetti di cui si compone un bene: caratteristiche geometrico-dimensionali e tecnico-costruttive, informazioni di natura storica e formale, etc.

L'organizzazione e la rappresentazione di tale eterogeneo corpus informativo (immagini, foto, disegni, documenti d'archivio, informazioni sullo stato di conservazione, etc.) si pone come questione cruciale per lo studio del patrimonio attraverso l'uso di modelli digitali.

Un database opportunamente strutturato, infatti, permette la gestione delle informazioni, facilitandone la consultazione, l'analisi critica e la loro comunicazione, costituendo la base per la valorizzazione e conservazione del patrimonio architettonico. L'articolazione di un tale database richiede l'opportuna definizione della sua struttura e della documentazione che in esso deve essere archiviata. In considerazione delle diverse finalità del database, una prima riflessione deve riguardare il profilo dei possibili utenti: ricercatori, studiosi, personale non specializzato, studenti, turisti etc. A ciò si aggiunge la necessità di definire i contenuti del database, sia per quanto riguarda i temi che il formato e la qualità dei file. La conoscenza e, quindi, la documentazione di un bene architettonico comprende tutte le informazioni inerenti i molteplici aspetti che caratterizzano il manufatto.

Il primo contenuto del sistema informativo è rappresentato dalla localizzazione del bene architettonico e dal suo inquadramento contestuale.

Poi, trattandosi di architettura storica e, quindi, soggetta a processi di modificazione e stratificazione avvenuti nel corso del tempo, fondamentale è la ricostruzione delle fasi storiche che hanno scandito il processo formativo che l'ha condotta all'oggi. La gestione, dunque, della documentazione storico-archivistica riguardante l'edificio risulta di fondamentale importanza per la sua fruizione e analisi.

Inoltre, poiché il manufatto nella sua conformazione attuale costituisce il principale riferimento di qualsiasi tipo di analisi, in quanto unico documento esperibile, un ruolo chiave è rivestito dalla gestione dei dati di rilievo.

A ciò vanno aggiunte le informazioni (foto, saggi, etc.) inerenti l'apparecchiatura costruttiva che, espressione delle culture tecnologiche che l'hanno prodotta, rappresenta un aspetto imprescindibile per la conoscenza profonda di un manufatto architettonico.

Infine, lo stato di conservazione dell'edificio storico, con l'inserimento e l'aggiornamento dei dati riguardanti gli eventuali fenomeni di degrado e di dissesto che lo interessano, costituisce un'ulteriore tematica del database.

Alla problematica dei diversi tipi di contenuti si affianca quella relativa all'organizzazione della documentazione e alla strutturazione del database, così da facilitare la ricerca, la consultazione e l'analisi dei materiali in esso archiviati.

La sistematizzazione e la strutturazione dei dati, infatti, eseguita sulla base della segmentazione della geometria architettonica in componenti e delle relazioni gerarchiche esistenti, consente la formulazione di query, offrendo l'opportunità di effettuare facilmente analisi tematiche³⁵.

In tale ambito, il modello tridimensionale non costituisce una semplice visualizzazione degli aspetti geometrico-dimensionale, ma è da intendersi come una rappresentazione complessa dell'edificio, comprensiva delle caratteristiche storico-architettoniche e dei valori di cui è portatore.

Apollonio sottolinea che i modelli 3D digitali hanno portato al superamento della concezione che assegnava alla rappresentazione il semplice valore di attributo della conoscenza, divenendo "matrice e nucleo aggregativo del sistema informativo"³⁶. Saygi et al., a tal proposito, mettono in evidenza come il passaggio dal disegno 2D a quello 3D non abbia comportato esclusivamente l'introduzione della terza dimensione ma, piuttosto, abbia condotto ad un potenziamento del processo analitico, grazie all'opportunità di navigare tra i dati e di interrogare il modello stesso³⁷.

La possibilità di accedere alle informazioni attraverso il modello digitale 3D, che diventa una sorta di interfaccia grafica, facilita lo studio e l'analisi del bene architettonico, favorendo la comprensione dei valori storici ed artistici del manufatto. L'esigenza di un database collegato ad una rappresentazione tridimensionale, dove archiviare, gestire ed analizzare le eterogenee informazioni necessarie a descrivere un bene architettonico, trova nel 3D GIS e nel BIM due interessanti strumenti, differenti per caratteristiche, potenzialità e limiti.

Il Geographical Information System (GIS), nato per la gestione e l'analisi di dati spaziali relativi ad una scala di rappresentazione piccola, è stato pensato principalmente per ambienti urbani e analisi territoriali. Successivamente, in considerazione delle sue potenzialità nell'ambito della gestione di importanti quantitativi di dati, l'interesse verso il GIS viene esteso anche alla scala architettonica, nonostante le importanti limitazioni dovute ad un ambiente esclusivamente bidimensionale.

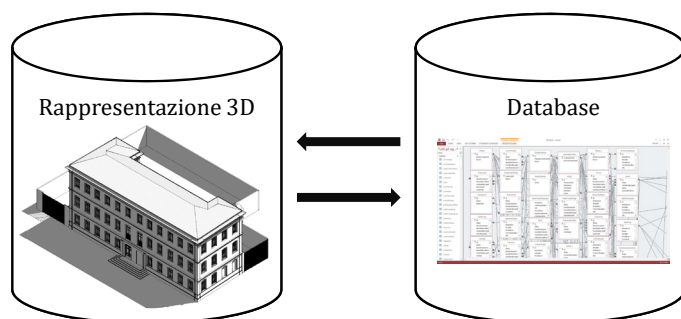


Fig. 10. Sistemi informativi digitali (es. 3D GIS e BIM), caratterizzati dal collegamento del database alla rappresentazione tridimensionale.

Lo sviluppo delle piattaforme informatiche, poi, con l'inclusione di ambienti tridimensionali, ha dato avvio a numerose ed importanti ricerche incentrate sullo studio dei beni architettonici attraverso sistemi 3D GIS³⁸.

L'implementazione degli strumenti GIS ha, infatti, portato alla possibilità di creare un database relazionale associato ad oggetti tridimensionali, con significativi miglioramenti nella gestione e nella fruizione delle informazioni sull'edificio storico.

Le limitazioni degli strumenti di modellazione GIS, tuttavia, vincolati all'uso esclusivo di primitive geometriche, ha spinto i ricercatori a ricorrere all'integrazione di tali sistemi con software di modellazione specifici (modelli B-Rep, CSG o mesh). In tale maniera, le geometrie architettoniche più complesse potevano essere create con software più adatti e, poi, importate all'interno della piattaforma GIS.

In particolar modo, l'archeologia ha sfruttato le potenzialità offerte dall'integrazione di rappresentazioni mesh e 3D GIS, ai fini dell'interpretazione e della documentazione dei siti archeologici. Nello specifico, i modelli mesh, derivanti da fotogrammetria, vengono impiegati per rappresentare e documentare le unità stratigrafiche degli scavi, registrando e permettendo agli studiosi di tornare ad esplorare, virtualmente, i diversi strati. Il modello tridimensionale viene, poi, importato in ambiente GIS e collegato, quindi, ad un database contenente i dati e le informazioni relative al sito, favorendone l'analisi e l'interpretazione³⁹.

Nel settore dell'architettura, l'interesse verso il GIS è stato alimentato dalla possibilità di avere un sistema informativo esaustivo, attraverso cui creare le condizioni ottimali per la conservazione e valorizzazione del patrimonio architettonico.

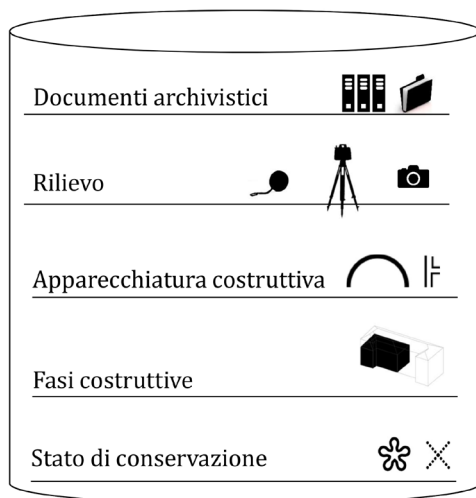


Fig. 11. Contenuti informativi necessari alla conoscenza di un bene architettonico e che, quindi, devono essere gestiti opportunamente all'interno del DB.

La realizzazione dei modelli tridimensionali rispecchia la scomposizione dell'edificio storico in elementi costruttivi che, una volta importati in ambiente GIS, vengono arricchiti da informazioni di varia natura (materiale, epoca storica, documenti archivistici, restauri effettuati, etc.).

L'organizzazione dei dati e la strutturazione del database sono legate alle specifiche finalità dell'analisi e alle caratteristiche del caso studio in esame. Centofanti et al. , in accordo con la schedatura dell'Istituto Superiore per la Conservazione e il restauro (ISCR), individuano tre differenti livelli di studio, corrispondenti a tre moduli consecutivi del database: il "complesso architettonico", comprendente tutti gli elementi costitutivi; il "singolo edificio", ossia ogni singola unità architettonica del complesso; la "singola stanza", vale a dire l'unità minima, di solito corrispondenti al singolo ambiente, dove ogni elemento architettonico viene classificato e descritto. La presenza di tutti e tre i livelli di analisi, o meno, dipende dall'edificio esaminato: se nel caso di complessi architettonici composti da diversi fabbricati annessi, l'articolazione nei tre livelli sarà completa, in presenza di chiese a navata unica, ad esempio, si avrà un unico livello, nel quale saranno poi individuati i singoli componenti architettonici (strutture verticali e orizzontali, connettivi verticali, superfici e decorazioni, etc.).⁴⁰.

Tra i principali vantaggi offerti dai sistemi informativi 3D GIS va annoverata la possibilità di formulare query ed effettuare analisi tematiche ed elaborazioni di sintesi in maniera semplice ed efficiente. Come aspetto sfavorevole, invece, va messo in evidenza come la necessità di ricorrere a strumenti di modellazione esterni implichi, inevitabilmente, un allungamento dei tempi di lavoro, oltre che una probabile perdita di informazioni durante il processo di conversione. La diversità dei paradigmi rappresentativi dei due ambienti (GIS e un qualsiasi software di modellazione), infatti, può essere causa di incompatibilità che richiedono una particolare attenzione durante la fase di importazione, affinché si eviti la perdita di dati⁴¹.

Dall'altro lato il BIM (Building Information Modeling), nato specificatamente per l'architettura, si fonda sull'utilizzo di oggetti parametrici "intelligenti" che possiedono, virtualmente, gli stessi attributi dell'elemento reale. Il modello BIM viene, così, a costituire una sorta di simulazione virtuale dell'edificio, offrendo l'opportunità di un approccio integrato, comprensivo di tutte le componenti del processo edilizio (architettoneica, strutturale, impiantistica, etc.).

La modellazione delle geometrie architettoniche e la strutturazione del database non sono due momenti distinti, ma procedono di pari passo: una volta riconosciuti gli elementi costitutivi dell'architettura in esame, attraverso un processo di scomposizione e semantizzazione, la fase di modellazione BIM ricomprende sia la creazione delle geometrie che l'inserimento delle proprietà e delle informazioni necessarie per la definizione e la rappresentazione dei componenti architettonici. Tali proprietà, oltre a descrivere l'oggetto nell'ambiente BIM, costituiscono le voci del database del modello.

La strutturazione del database BIM, dunque, si basa sulla scomposizione semant-

tica dell'edificio in componenti costruttivi (muri, finestre, porte, solai, etc.)

Il collegamento tra BIM e database consente l'aggiornamento in entrambe le direzioni, ossia è possibile modificare i valori dei parametri nel formato database e, dopo averlo ricaricato, avere la restituzione nella modalità grafica.

Il modello BIM, dunque, non costituisce un semplice strumento attraverso cui navigare tra i diversi contenuti informativi, ma rappresenta esso stesso l'archivio dei dati e delle informazioni reperite.

Le potenzialità di tale metodologia, capace di archiviare e gestire all'interno di un'unica piattaforma interattiva le informazioni riguardanti l'intero processo edilizio, in tutti i suoi aspetti (architettonico, strutturale, impiantistico, etc.) e in tutte le fasi, ha fatto sì che il BIM divenisse un riferimento essenziale nella gestione del processo edilizio, sancito anche a livello normativo (Direttiva Europea 2014/24/EU sugli Appalti Pubblici; Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 1 dicembre 2017, n. 560).

In particolare, la possibilità di un sistema di conoscenza condiviso tra i diversi specialisti, dove archiviare e rendere facilmente accessibili i documenti e le informazioni, ha portato ad estendere l'approccio BIM, nato per le nuove costruzioni, anche al patrimonio architettonico.

Nasce, così, l'HBIM (Historical o Heritage Building Information Modeling) che, offrendosi come piattaforma interattiva dove archiviare e gestire le informazioni necessarie alla documentazione e conservazione, diviene un utile strumento di lettura e analisi del manufatto architettonico.

Ciononostante, ad oggi, il BIM non riesce a supportare pienamente la vastità e l'eterogeneità delle informazioni necessarie alla documentazione dei beni architettonici. La specificità dei contenuti da includere all'interno del modello di un edificio storico rende necessario la creazione di famiglie ad hoc, corredate da apposite proprietà che descrivano in maniera esaustiva l'elemento architettonico.

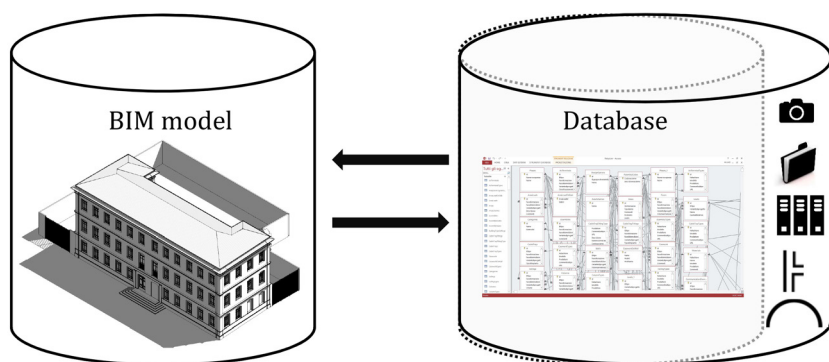


Fig. 12. I database BIM odierni, pensati per il progetto del nuovo, non risultano essere sufficienti a gestire il grande quantitativo di informazioni necessario alla descrizione di un bene architettonico; ad oggi, per utilizzare il processo BIM nell'ambito del patrimonio architettonico, si rende necessario un ampliamento di tali database.

Tuttavia, vi sono dati di carattere più generale, quali disegni d'archivio, immagini storiche, notizie riguardanti l'autore dell'opera e il contesto culturale, etc., che pur essendo fondamentali nel processo di conoscenza di un bene culturale, risultano essere non direttamente correlabili al manufatto e ai suoi elementi costitutivi. Tali dati, dunque, fondamentali nell'analisi storico-critica dell'edificio, non sono direttamente gestibili in ambiente BIM.

I database propri delle applicazioni odierne, pensati per il progetto del nuovo, non risultano essere sufficienti ad accogliere questa moltitudine di informazioni e gestirne la complessità.

Ad oggi, per utilizzare il processo BIM nell'ambito del patrimonio architettonico, si rende necessario un ampliamento di tali Database, mantenendoli, allo stesso tempo, collegati al modello tridimensionale. Una possibile soluzione è quella di correlare in maniera interoperabile il modello BIM e il suo contenuto informativo con un database esterno più ampio, che contenga tutte quelle informazioni di valenza generale che sono difficilmente inseribili all'interno del database offerto di default dalle software houses.

Entrambi i sistemi informativi presentano importanti vantaggi (database relazionale associato al modello tridimensionale) e considerevoli limitazioni (problematiche nell'importazione del modello 3D all'interno del GIS, oppure difficoltà nell'inserire elementi o informazioni non previsti dai software tradizionali BIM). Tale consapevolezza ha spinto i ricercatori ad indagare un nuovo approccio che, fondato sull'integrazione dei due, potesse sfruttare i punti di forza di entrambi. L'integrazione delle due piattaforme richiede il superamento delle problematiche relative alla loro interoperabilità e, in particolare, allo scambio tra i due formati specifici: lo standard CityGML per il GIS e l'Industry Foundation Classes (IFC) per il BIM.

Saccucci e Pelliccio propongono un nuovo approccio denominato B/G-IM (Building/Geographical Information Model), che consenta la fruizione dei dati gestiti sia in ambito BIM che GIS. La soluzione proposta si articola in due fasi distinte: la prima avviene, separatamente, all'interno delle due piattaforme GIS e BIM; la seconda riguarda l'integrazione dei due modelli all'interno del software Autodesk InfraWorks⁴².

L'obiettivo principale è l'integrazione di due differenti sistemi informativi che esprimono il loro maggior potenziale a due scale differenti, la territoriale e l'edilizia, sfruttando al meglio i vantaggi di entrambi. Così, l'importazione di un modello BIM di un edificio storico all'interno di un modello GIS del contesto, offre l'opportunità di effettuare analisi spaziali e di formulare query che, altrimenti, nel BIM non sarebbero consentite⁴³.

L'organizzazione ottimale dei dati e delle informazioni e una loro agevole fruizione, favorite dall'ausilio di sistemi informativi digitali (3D GIS e BIM), riduce il rischio di perdita di conoscenza, favorendo la documentazione, conservazione e valorizzazione del patrimonio architettonico.

3.4. HBIM: Il Building Information Modeling per l'architettura storica

Negli ultimi anni, il Building Information Modeling (BIM) è divenuto un riferimento essenziale nell'ambito della gestione dei processi edilizi.

Sviluppato appositamente per l'architettura, il BIM deve il suo crescente ruolo all'interno del settore dell'Architecture, Engineering and Construction (AEC) alle sue indiscusse potenzialità nella gestione delle informazioni relative all'intero ciclo di vita dell'edificio, dalla progettazione, alla costruzione, manutenzione, gestione e dismissione.

Il modello BIM, così come specificato negli standard internazionali, costituisce una "shared digital representation of physical and functional characteristics of any built object [...] which forms a reliable basis for decisions"⁴⁴.

Il modello, grazie all'utilizzo di oggetti tridimensionali semanticamente identificati ed arricchiti da informazioni sia qualitative che quantitative, che simulano nella rappresentazione virtuale gli attributi dell'elemento reale, permette l'integrazione all'interno di un'unica piattaforma di tutti gli aspetti del processo edilizio (architettonico, strutturale, impiantistico, economico, etc.).

Gli oggetti digitali, parametrizzati e pre-definiti attraverso apposite librerie 3D articolate secondo i componenti architettonici di un edificio (chiusure verticali, orizzontali, porte, finestre, etc.), sono descritti dal Livello di Sviluppo (Level of Development – LOD), misura della ricchezza informativa, grafica e non, che li caratterizza.

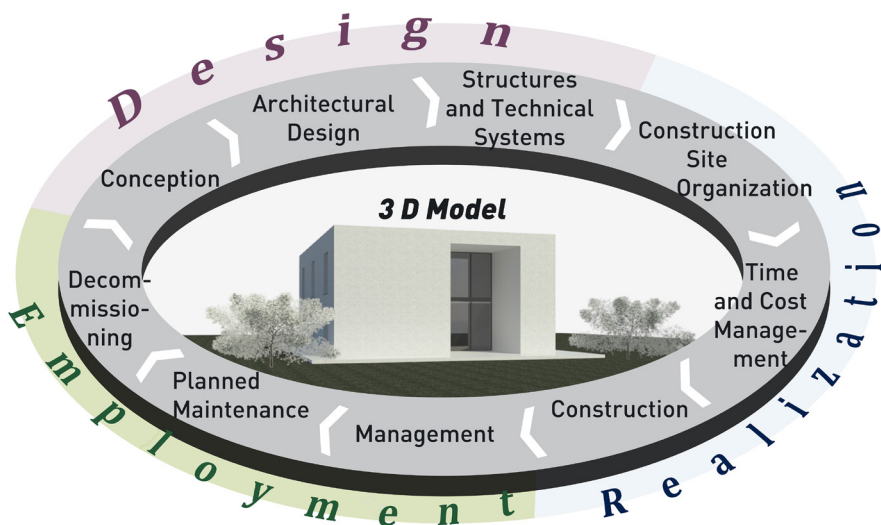


Fig. 13. Il BIM e il ciclo di vita dell'edificio: il modello-database consente la gestione dell'intero processo edilizio, in tutte le sue fasi (dall'ideazione alla dismissione del costruito).

Tra le scale LOD internazionali più diffuse vi è quella americana del BIMForum, espressa in centinaia (LOD 100, 200, 300, etc.), oppure quella inglese delle PAS (LOD da 1 a 6); dal 2017 è in vigore anche la scala LOD italiana stabilita dalle norme UNI 11337.

Il modello BIM, inteso nella sua duplice valenza di rappresentazione grafica e contenuto informativo, diventa una simulazione virtuale dell'intero processo edilizio, attraverso cui ridurre i rischi dovuti a carenze nella condivisione di informazioni ed interferenze tra le diverse componenti del processo edilizio, facilitando l'ottimizzazione del tempo e delle risorse.

La maggiore efficienza del processo edilizio, consentita dall'utilizzo di procedure BIM, è riconducibile all'archiviazione e gestione dei dati e delle eterogenee informazioni all'interno di un unico ambiente digitale, interattivo ed interoperabile.

Si viene così a costituire una nuova modalità di lavoro, legata alla digitalizzazione dei processi di costruzione: un approccio fondato sull'interazione in tempo reale di tutte le figure professionali che prendono parte al processo edilizio, le quali comunicano tra loro attraverso il modello BIM, aggiornandolo e integrandolo con il proprio contributo.

Alla espressione grafica è demandato il compito di consentire la visualizzazione e, quindi, la fruizione dei dati eterogenei archiviati nel database che sottende il processo BIM. Il ruolo della rappresentazione, dunque, diviene centrale per la gestione delle informazioni e per consentire l'interoperabilità del processo.

È attraverso la "rappresentazione del Database" che i diversi operatori coinvolti nel processo edilizio riescono ad inserire il proprio contributo: il modello, filtrato opportunamente, viene visualizzato con modalità differenti a seconda di chi è rivolto (architetti, ingegneri, strutturisti, impiantisti etc.), consentendo letture tematiche specifiche delle varie discipline che interagiscono nel processo edilizio.

La rappresentazione non è più affidata prevalentemente ad elaborati bidimensionali (comunque facilmente esportabili dalla piattaforma BIM), bensì a modelli tridimensionali interattivi.

Nel BIM, dunque, le tradizionali modalità di espressione grafica, basate su di un linguaggio condiviso fatto da regole, convenzioni e simboli, si integrano ad una rappresentazione che non è solo tridimensionale ma complessa: cioè che coniuga visualizzazioni 3D del modello con un sistema simultaneo di informazioni eterogenee, visualizzate con tabelle, schemi, didascalie, immagini raster, finestre di testo, etc.

Il crescente ruolo assunto dal Building Information Modeling (BIM) all'interno del settore dell'architettura e dell'edilizia è stato sancito anche a livello normativo, sia in ambito internazionale che nazionale.

La Direttiva Europea 2014/24/EU sugli Appalti Pubblici indirizza verso l'introduzione del Building Information Modeling all'interno delle procedure di appalto degli Stati membri.

L'Italia, nel Nuovo Codice degli Appalti (D.Lgs 18 Aprile 2016, n.50), recepisce la normativa europea e, pur non rendendo obbligatorio l'impiego del BIM, stabilisce che "...La progettazione in materia di lavori pubblici [...] è intesa ad assicurare: [...] la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture [...]".

Nel cosiddetto Decreto BIM (DM 560/2017), invece, vengono stabilite le modalità e le tempistiche della progressiva introduzione delle procedure BIM negli appalti pubblici:

- da gennaio 2019, l'utilizzo del BIM diventa obbligatorio per importi a base di gara pari o superiori a 100 milioni di euro;
- dal 2020 per importi pari o superiori a 50 milioni di euro;
- dal 2021 per importi pari o superiori a 15 milioni di euro;
- dal 2022 per importi pari o superiori alla soglia di rilevanza comunitaria (art. 35 Codice degli Appalti);
- dal 2023 per importi pari o superiori a 1 milione di euro;
- dal 2025 per importi inferiori a 1 milione di euro.

A tali norme si aggiunge un altro fondamentale riferimento, rappresentato dalla normativa UNI 11337:2017 "Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni", che vede coinvolti nella sua elaborazione oltre 70 componenti pubblici e privati, rappresentanti l'intera filiera (progettisti, imprese, produttori, stazioni appaltanti, giuristi, istituti di ricerca, università, case software, ecc.).

La norma è articolata in 10 parti, di cui sono state sinora rilasciate la 1, 3, 4, 5 e 6 (le parti 1, 4, 5 e 6 sono state pubblicate ad inizio 2017 e si sono aggiunte alla 3, unica parte rimasta in vigore del vecchio impianto normativo del 2009).

La parte 1 "Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi" (gennaio 2017) definisce "gli aspetti generali della gestione digitale del processo informativo nel settore delle costruzioni", quali: la struttura dei veicoli informativi; la struttura informativa del processo (di ideazione, produzione, esercizio) delle costruzioni; la struttura informativa del prodotto delle costruzioni, ossia l'opera.

La parte 3 "Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione" (aprile 2015) si occupa della definizione di schede informative per l'archiviazione di dati ed informazioni tecniche riguardanti i prodotti da costruzione.

La parte 4, "Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti" (gennaio 2017) è dedicata agli aspetti qualitativi e quantitativi dei contenuti informativi che, nell'ambito di una gestione digitalizzata del processo edilizio, supportano il processo decisionale. In particolare, vengono specificati: gli obiettivi di ciascuna fase del processo introdotta nella parte 1; una scala dei livelli di sviluppo informativi degli oggetti digitali (LOD - Level of Development); una scala per gli stati di lavorazione e di approvazione del contenuto informativo del modello BIM.

I LOD, in accordo con il sistema inglese (PAS 1192-2 del 2013) ed americano

(BIMForum), sono definiti sulla base sia dei livelli di sviluppo degli attributi grafici (livello di sviluppo degli oggetti – attributi geometrici (LOG)) sia di quelli non grafici (livello di sviluppo degli oggetti – attributi informativi (LOI)).

I livelli di sviluppo degli oggetti digitali, pur molto simili ai LOD USA, non usano la scala numerica in centinaia ma ne seguono una alfabetica, che va dalla lettera A (oggetto simbolico) alla lettera G (oggetto aggiornato).

Nella UNI è inoltre consentito, l'utilizzo di eventuali classi intermedie di LOD definite nel Capitolato Informativo e identificate con la lettera inferiore di riferimento e un numero intero tra 1 e 9.

La parte 5 "Flussi informativi nei processi digitalizzati" (gennaio 2017) si occupa di definire i ruoli, le procedure, le regole e i flussi di lavoro, introdotti dal cambio di paradigma generato dalla gestione digitalizzata del processo edilizio.

La parte 6 "Linea guida per la redazione del capitolato informativo" ha l'obiettivo di offrirsi come riferimento per la stesura del capitolato informativo (CI, esplicitazione dei requisiti informativi richiesti dal committente) ma anche dell'offerta di gestione informativa (oGI, specificazione della gestione informativa offerta dall'affidatario in risposta al committente) e del piano di gestione informativa (pGI, pianificazione operativa della gestione informativa), definiti nella parte 5 della norma.

La normativa UNI 11337 ha il merito di aver fatto proprie le best practice internazionali e di averle calate nel contesto italiano.

Tra le maggiori novità rispetto al panorama internazionale (PAS 1192-2 e BIMForum) vi è, sicuramente, l'aver contemplato all'interno della scala LOD anche gli interventi di restauro⁴⁵.

In particolare, per quanto riguarda questi ultimi, la UNI stabilisce che ha scarso significato l'utilizzo dei LOD da A ad E, fatto salvo per alcune semplificazioni del modello di natura specialistica (analisi strutturali, energetiche, etc.), per le quali si può avere un LOD D o E.

Il LOD F, invece, indica una virtualizzazione dell'edificio esistente (as-built) comprensiva degli interventi di gestione, manutenzione e riparazione programmati per ogni singolo elemento.

Il LOD G, invece, si riferisce ad oggetti che rappresentano la virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto dell'elemento architettonico. Costituisce una rappresentazione storicizzata del componente, in cui sono annotati tutti gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione subiti nel tempo, così come sono registrate le eventuali forme di degrado.

Come ulteriore riferimento all'utilizzo del BIM per l'esistente, va sottolineato che nella parte 9, ancor in fase di elaborazione assieme alle parti 2,7, 8, 10 e l'aggiornamento della 3, verrà normato il rilievo digitale (nuvole di punti, termografie, tomografie, etc.).

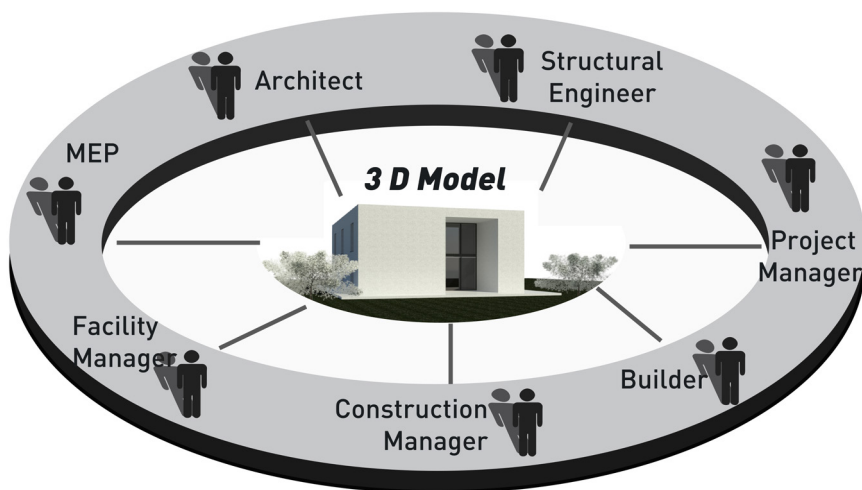


Fig. 14. Il BIM e l'interoperabilità: le diverse figure professionali coinvolte nel processo edilizio comunicano tra loro attraverso il modello BIM, aggiornandolo e integrandolo con il proprio contributo.

La documentazione e la conservazione del patrimonio architettonico richiedono una conoscenza profonda e totale dell'edificio, una lettura dell'opera in tutti i suoi aspetti costitutivi: storici, architettonici, tecnologici, strutturali, etc. La natura multidisciplinare di ogni approccio riguardante i beni architettonici - sia esso finalizzato alla conoscenza e allo studio dell'opera oppure al suo restauro - comporta una continua collaborazione tra diverse figure professionali (storici, architetti, ingegneri, restauratori, etc.). Dunque, un sistema di conoscenza condiviso tra i diversi specialisti, dove archiviare e rendere facilmente accessibili le informazioni, costituisce un presupposto fondamentale ai fini della documentazione, conservazione e valorizzazione di un bene architettonico.

Tale esigenza ha spinto chi si occupa di patrimonio architettonico ad interessarsi al Building Information Modeling, realtà sempre più consolidata per le nuove costruzioni.

Il BIM consente di archiviare e gestire all'interno di un'unica piattaforma interattiva le informazioni riguardanti l'intero processo edilizio, in tutti i suoi aspetti (architettonico, strutturale, impiantistico, etc.) e in tutte le fasi. Un'interfaccia grafica tridimensionale consente la fruizione dei dati archiviati nel database, offrendo la possibilità di accedervi ed integrarli. Si viene così a creare un ambiente collaborativo interattivo, dove le diverse figure professionali possono interagire tra loro operando direttamente sul modello-database. In tal modo si riducono i rischi legati alla perdita di dati e di informazioni, con importanti ricadute sia sul piano economico che delle tempistiche.

Nonostante gli evidenti vantaggi offerti da una base informativa condivisa,

l'applicazione del BIM al patrimonio architettonico risulta essere ancora una metodologia non completamente matura, a causa dell'approccio metodologico profondamente differente che distingue gli edifici storici da quelli di nuova costruzione.

Nel suo duplice significato di rappresentazione grafica e database, le problematiche inerenti l'estensione dei processi BIM al patrimonio architettonico riguarderanno, da una parte, la modellazione, dall'altra, la strutturazione e l'organizzazione del grande quantitativo di informazioni necessarie per la conoscenza di un manufatto storico⁴⁶.

A tal proposito, si sottolineano i diversi acronimi utilizzati in letteratura, riferiti ai differenti approcci metodologici relativi al tema dell'applicazione BIM al patrimonio:

- HBIM (Historic Building Information Modeling) per una procedura incentrata sulla modellazione e rappresentazione tridimensionale degli edifici storici;
- BHIM (Built Heritage Information Modeling⁴⁷), focalizzato sulla gestione del contenuto informativo e la strutturazione del database.
- AHBIM (Architectural Heritage Building Information Modeling) come strategia volta alla documentazione del patrimonio architettonico, che contemperi sia la modellazione delle sue complesse geometrie che la gestione dell'informazione⁴⁸.

La dizione più diffusa, oggi, è la prima, riferita genericamente all'estensione delle metodologie BIM al patrimonio architettonico.

Per quanto attiene alla modellazione in ambiente BIM dei beni architettonici, a partire dal loro rilievo, diversi sono gli aspetti e le problematiche su cui riflettere.

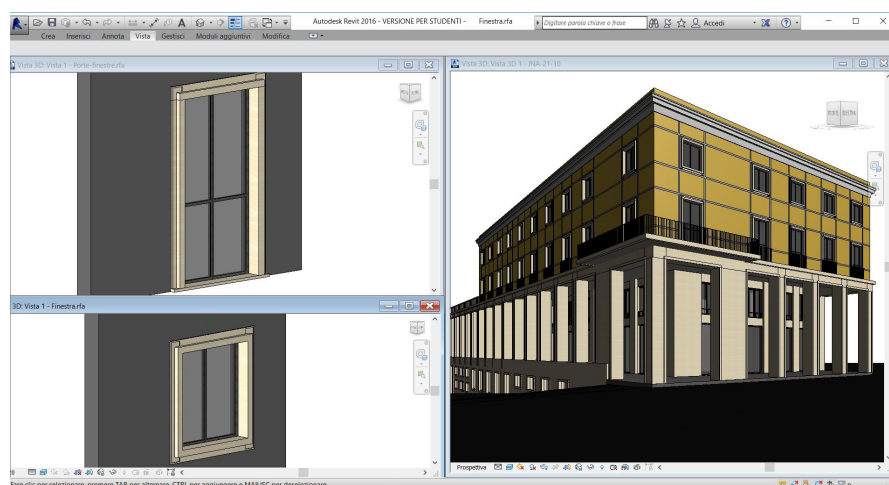


Fig. 15. Modellazione semantica ad oggetti, caratteristica del BIM: vista del modello del palazzo dell'INA (AQ) e delle famiglie create appositamente.

Le limitazioni dell'uso del BIM per la modellazione del patrimonio architettonico riguardano, essenzialmente, la perdita delle librerie, fondamento del processo standardizzato BIM, e la scarsa capacità di tali piattaforme di modellare stati non-ideali, come ad esempio deformazioni, danni e degradi, fondamentali, invece, per la documentazione di un bene architettonico.

L'acronimo HBIM (Historic Building Information Modeling) viene usato per la prima volta nel 2009 per descrivere un nuovo sistema multidisciplinare per la modellazione degli edifici storici, dove le componenti architettoniche, costruite sulla base di dati storici, vengono mappate sopra una struttura geometrica – framework – derivante dal rilievo⁴⁹.

Le attuali tecnologie di rilievo (laser scanner e fotogrammetria) forniscono una grande mole di dati non segmentati che necessitano di essere analizzati ed interpretati, per poi andare a costituire il fondamento della modellazione. La semantizzazione e creazione del modello rappresentano ancora processi manuali piuttosto lunghi e laboriosi, resi ancor più impegnativi dalla complessità geometrica che contraddistingue l'architettura storica⁵⁰.

Il tema della modellazione pone in tutta evidenza il problema di come conciliare la standardizzazione degli elementi architettonici, propria del BIM, con quella che rappresenta la cifra del patrimonio storico, vale a dire la sua unicità⁵¹.

L'artigianalità del processo di realizzazione dell'architettura storica, assieme alle trasformazioni subite nel corso del tempo o ai fenomeni di degrado e deformazione, fanno del manufatto storico un *unicum* difficilmente assoggettabile ad una logica fondata sulla standardizzazione.

Se, da un lato, la parametrizzazione degli elementi architettonici consente una maggiore efficienza del processo edilizio, legata anche alla possibilità di riutilizzare tali oggetti, dall'altro, l'accuratezza richiesta ad un modello finalizzato alla conoscenza e documentazione di un bene architettonico presuppone il rispetto delle specificità e delle peculiarità dell'opera.

La modellazione dell'architettura storica, dunque, esige una particolare attenzione volta a valutare criticamente, in relazione alle finalità del modello e alle caratteristiche dell'edificio, quale strategia adottare: ricondurre l'elemento architettonico dell'edificio ad un oggetto tipizzato, perdendo le peculiarità e le difformità del reale rispetto a componenti standardizzate; modellare ogni specifico elemento architettonico con le anomalie che lo contraddistinguono, in accordo con l'approccio storicistico.

La necessità di preservare l'irregolarità geometrica delle architetture storiche ha spinto alcune linee di ricerche ad integrare la modellazione BIM con superfici NURBS (Non Uniform Rational Basis-Splines) che, poi, sfruttando l'interoperabilità tra i diversi output, vengono importate in ambiente BIM dove vengono parametrizzate ed arricchite da informazioni⁵².

Garagnani (2013), partendo dall'accuratezza del rilievo resa possibile dal laser scanner e dalla fotogrammetria, definisce una pipeline finalizzata alla trasformazione di dati acquisiti attraverso rilievi massivi ad alta definizione, in modelli

digitali BIM. A tale scopo, ha sviluppato un apposito plug-in per Autodesk Revit (GreenSpider), in grado di importare punti selezionati rappresentanti solo gli spigoli dell'elemento architettonico; questi punti, trasformati in snaps selezionabili, vengono usati per tracciare automaticamente curve splines al fine di modellare superfici molto più simili a quelle reali⁵³.

L'estensione dell'approccio BIM al patrimonio esistente, a causa della sua complessità geometrica ed architettonica, mette in evidenza l'insufficienza delle attuali librerie parametriche – fondamento della logica standardizzata del BIM – per la modellazione dell'architettura storica.

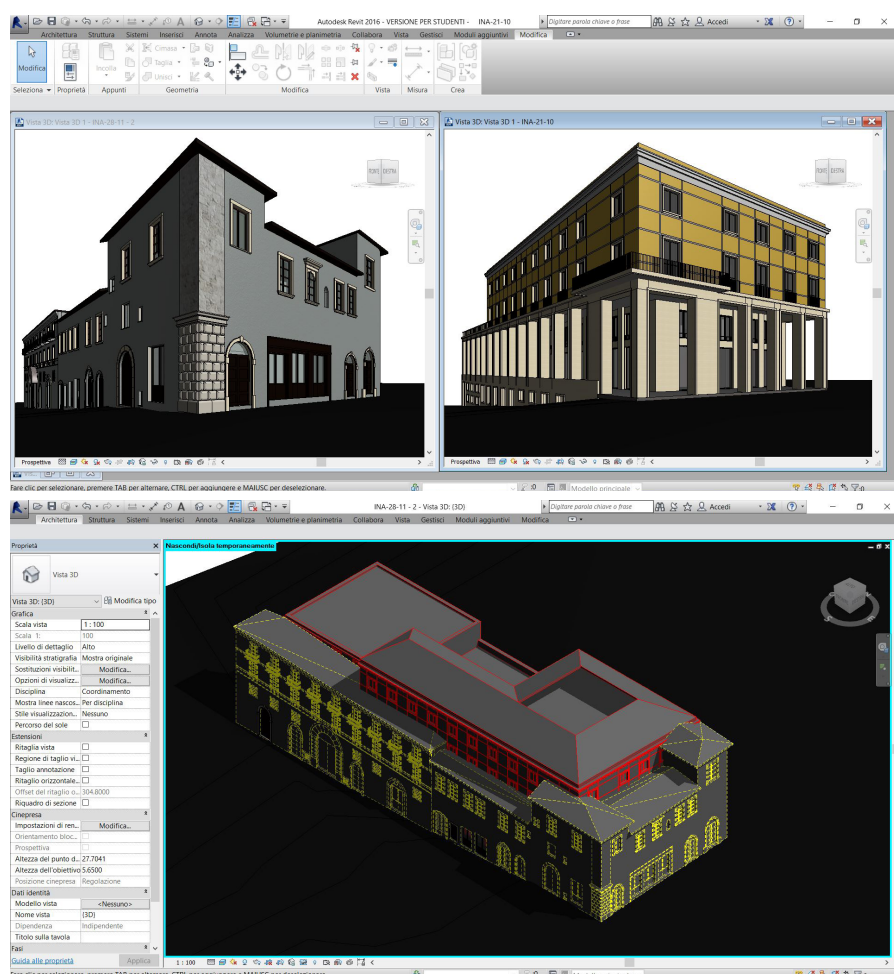


Fig. 16. Sezioni storiche in ambiente BIM dell'area dei Quattro Cantoni (AQ), sincroniche (in alto) e diacronica (in basso); viste del palazzo dell'INA (1938) e del tessuto edilizio demolito per consentire la sua realizzazione (in alto a sinistra).

Le librerie predisposte dai software BIM, infatti, nate per il progetto di edifici nuovi, presentano evidenti carenze per la rappresentazione parametrica dei componenti architettonici del patrimonio architettonico, come volte, archi, muraure fortemente irregolari, etc.

Molte linee di ricerca sull'HBIM, dunque, sono state finalizzate al superamento di tale limite, creando apposite librerie sulla base delle regole derivate dalla trattatistica. Core e Murphy definiscono uno specifico plug-in che unisce una libreria di oggetti parametrici ad una tecnica semiautomatica di modellazione: gli oggetti smart rappresentanti i componenti architettonici, e costruiti sulla base della trattatistica, vengono combinati insieme per realizzare delle facciate parametriche secondo regole e proporzionamenti classici, anch'essi codificati in letteratura; in un secondo momento, il modello BIM così creato, viene rifinito sovrapponendolo ai dati provenienti dal rilievo attraverso un editing grafico⁵⁴.

Apollonio et al.⁵⁵ mettono in evidenza come il processo BIM sia accumulato al trattato di architettura dall'organizzazione semantica e dalle relazioni parametriche degli elementi, che rendono entrambi un Knowledge systems. Dallo studio dei rapporti proporzionali degli ordini architettonici descritti nei trattati di Palladio, Scamozzi e Vignola, viene costruita una libreria di profili che, attraverso estrusioni su percorso e operazioni booleane, generano i diversi elementi architettonici tridimensionali. La possibilità di modificare il percorso di estrusione e i profili, grazie alla loro parametrizzazione, consente l'adattamento alle specifiche esigenze dell'edificio.

L'irregolarità dei componenti architettonici dell'architettura storica, tuttavia, fa sì che un modello creato solo sulla base di regole architettoniche e geometrie ideali, che non tengano conto delle deformazioni, dei danni o delle anomalie legate alle variazioni dell'ordine architettonico, possa essere anche sensibilmente distante dall'oggetto di studio. A fianco di un sistema di conoscenza generale, costituito dalla trattatistica e dalle regole architettoniche e di una modellazione fondata sulle geometrie ideali, si rende dunque necessaria la valutazione dell'aderenza della restituzione tridimensionale all'opera architettonica.

L'analisi della deviazione tra il modello BIM e la nuvola di punti, e la eventuale ri-modellazione degli elementi a partire dalle caratteristiche estratte dal rilievo, consente di raggiungere un livello di accuratezza del modello consono alle necessità dello studio e della documentazione del patrimonio architettonico⁵⁶.

Nel caso di valori di "deviazione" tra i due modelli non accettabili ai fini di una conoscenza profonda del manufatto, gli elementi in questione, rimodellati, vengono adattati ai dati del rilievo.

In ambiente BIM, la modellazione dei componenti architettonici non si ferma all'aspetto geometrico ma comprende anche l'inserimento dell'apparecchiatura costruttiva, la cui conoscenza è affidata alla ricerca archivístico-documentale, alla lettura critica dell'edificio, alle indagini diagnostiche, etc.

Il progredire dell'analisi dell'edificio porterà ad un progressivo aumento della conoscenza della fabbrica storica, tuttavia, a differenza degli edifici di nuova

costruzione, non è detto che si arrivi ad una conoscenza completa di tutti gli aspetti tecnici. Ciò significa che, anche a termine del processo di studio del bene architettonico, si possono avere delle lacune per la conoscenza dell'apparecchiatura costruttiva, con conseguenti Level of Development non uniformi per tutti i componenti dell'edificio.

La complessità e l'irregolarità degli elementi architettonici del patrimonio storico rendono la realizzazione di appositi smart object, attraverso la creazione di nuove famiglie, un'operazione non immediata né priva di criticità: difficoltà nel parametrizzare forme complesse, operazioni lunghe e laboriose, etc.

Con l'obiettivo di superare tali limiti e ottenere modelli aderenti alle caratteristiche di unicità dei beni architettonici, inizia a farsi strada nel settore della sperimentazione sull'HBIM l'utilizzo del computational design, attraverso cui gestire in maniera parametrica le complesse forme geometriche dell'architettura storica.

Paris e Wabbeh, attraverso l'ausilio della programmazione visuale, indagano una nuova modalità di modellazione sulla base di dati ottenuti con tecniche 3D shape acquisition, articolata in due momenti: uno di analisi della geometria dell'oggetto architettonico e di creazione del modello parametrico, ed uno relativo all'inserimento in tale modello dei valori numerici estratti dalla nuvola di punti⁵⁷.

Di Luggo et al. utilizzano il linguaggio del computational design per risolvere le criticità legate alla modellazione di una volta generata da ovali che differiscono tra pianta e sezioni longitudinale e trasversale.

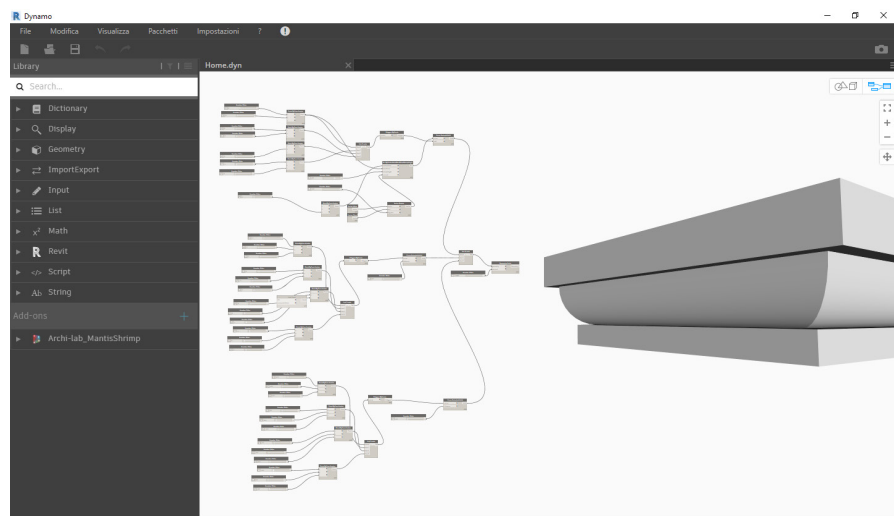


Fig. 17. Creazione del modello parametrico di un cornicione attraverso il computational design, all'interno di Autodesk Dynamo software.

Sempre per la modellazione di sistemi voltati, Sampietro et al. (2018) impiegano algoritmi generativi con l'intento di velocizzare e migliorare la realizzazione di geometrie complesse⁵⁸.

Il computational design presuppone l'elaborazione delle informazioni e delle interazioni tra gli elementi che costituiscono il progetto. Invece della tradizionale scrittura di codici, la programmazione avviene attraverso la manipolazione di elementi grafici, permettendo di costruire procedure di automazione senza la necessità di dover conoscere alcun tipo di linguaggio specifico.

Il ricorso ad algoritmi generativi consente la gestione parametrica di forme geometriche maggiormente complesse, riducendo sia le difficoltà della modellazione che i tempi di elaborazione. La modellazione e parametrizzazione degli elementi architettonici ricorrenti nelle architetture storiche, attraverso la programmazione visuale, può infatti agevolare sensibilmente il processo di conoscenza e documentazione del patrimonio architettonico.

Attraverso la lettura critica operata tramite il rilievo, l'elemento viene analizzato e scomposto nelle sue parti costitutive, individuando le relazioni parametriche che le legano.

Successivamente tali legami vengono tradotti in un modello parametrico attraverso l'utilizzo di un linguaggio di programmazione visuale (ad esempio utilizzando l'applicazione Autodesk Dynamo).

Il modello così generato viene poi importato all'interno del software BIM (es. Autodesk Revit) dove vengono inseriti i valori dei parametri propri del caso specifico, estratti dal rilievo.

I componenti architettonici, dunque, vengono prima tipizzati e parametrizzati e, successivamente, attraverso la modifica dei parametri, vengono ricondotti alla specificità del significante architettonico.

La procedura di computational design descritta, una volta reiterata per i principali componenti delle architetture storiche di uno specifico contesto, può portare alla definizione di una libreria di oggetti per la modellazione del patrimonio architettonico tale che possa costituire una sorta di "manuale parametrico" degli elementi architettonici.

Tale manuale parametrico dovrebbe raccogliere script aperti - cioè disponibili, utilizzabili e modificabili da chiunque -, dedicati agli elementi architettonici di uno specifico territorio, successivamente riconducibili da parte del modellatore alla specificità del significante architettonico, sulla base del confronto con il rilievo dell'elemento (nuvola di punti).

Attraverso una procedura fondata sugli algoritmi generativi, quindi, può essere creata una sorta di libreria di oggetti parametrici per architetture storiche, che permetta, da un lato, la gestione di geometrie complesse e, dall'altro, l'ottimizzazione del processo HBIM.

Accanto alla questione della modellazione, l'estensione del processo BIM al costruito storico comporta la necessità di specifiche riflessioni riguardo la creazione e gestione delle informazioni correlate al modello.

Diversi sono gli studi dedicati alle tematiche della documentazione dell'architettura attraverso una piattaforma BIM⁵⁹ e alla integrazione della modellazione BIM con un sistema di conoscenza basato sulle ontologie⁶⁰.

Il BIM, inteso anche nella sua accezione di database condiviso, consente la gestione e la fruizione di un grande quantitativo di dati e informazioni riguardanti tutte le fasi del processo edilizio, favorendo l'interoperabilità tra le diverse figure professionali. Il modello stesso diventa il contenitore di tali informazioni che, all'occorrenza e a seconda delle necessità, vengono richiamate attraverso delle semplici operazioni di visualizzazione.

La complessità del patrimonio architettonico fa sì che, al fine di una documentazione completa, sia necessaria una quantità di informazioni estremamente vasta ed eterogenea. Sarà necessario, infatti, gestire documenti d'archivio (relazioni, foto, disegni, precedenti rilievi, etc.), dati relativi alle diverse fasi costruttive, informazioni inerenti allo stato di conservazione dell'edificio, le diverse tipologie di degrado e gli eventuali dissesti, etc.

L'organizzazione del database e delle informazioni in esso contenute diviene, quindi, un aspetto prioritario all'interno della realizzazione di modelli BIM per gli edifici storici⁶¹.

Modellazione tridimensionale e strutturazione del database sono due facce della stessa medaglia e devono svilupparsi di pari passo affinché il processo HBIM si riveli operativamente utile alla documentazione e alla valorizzazione del patrimonio architettonico.

I database delle applicazioni odierne non risultano essere sufficienti ad accogliere tale vastità di informazioni e gestirne la complessità. Per utilizzare il processo BIM nell'ambito del patrimonio architettonico, pertanto, è necessario un ampliamento di tali database, facendo sì, tuttavia, che rimangano collegati al modello 3D. Diviene quindi di primaria importanza una strutturazione ontologica delle varie parti costituenti l'edificio storico, al fine di individuarne le relazioni semantiche che permettano la loro identificazione, fruizione e interrogazione all'interno del database.

Una possibile soluzione è quella di correlare in maniera interoperabile il modello BIM e il suo contenuto informativo con un database esterno più ampio, che contenga tutte quelle informazioni di valenza generale che sono difficilmente inseribili all'interno del database offerto di default dalle software houses⁶².

3.5. La reliability del modello come misura dell'affidabilità della rappresentazione

Ogni rappresentazione architettonica, sia dello stato attuale di un edificio che di una passata configurazione, costituisce un'interpretazione, esito di una lettura critica operata dallo studioso.

Il modello, dunque, non è da intendersi come un semplice calco tridimensionale della realtà indagata bensì come processo di analisi, sintesi e comunicazione della complessità architettonica, comprendente tutti gli aspetti caratterizzanti il manufatto.

Nel caso dell'architettura storica, il concetto di "As-Built", spesso circoscritto ad aspetti meramente geometrico-dimensionali, non può non tenere conto anche delle caratteristiche storiche, materiche, costruttive, del degrado, etc. Tutti questi aspetti sono esito di processi di studio critico, riferito a fonti non omogenee, dirette ed indirette (diagnostica, documentazione archivistica, etc.), per ognuna delle quali è opportuno indicare un livello "interpretativo" delle informazioni desunte rispetto ai dati disponibili.

Diviene, dunque, essenziali la questione della "Trasparenza" del modello, intesa come dichiarazione delle fonti delle informazioni e possibilità di ricostruzione filologica delle scelte effettuate in relazione a queste⁶³.

La modellazione e la visualizzazione digitale del patrimonio architettonico, inoltre, pongono il problema dell'affidabilità della ricostruzione virtuale (reliability), riferita non solo all'aspetto geometrico-dimensionale, ossia al rapporto tra modello restitutivo e misura, ma anche a tutte le tematiche inerenti alla conoscenza di un edificio storico, tra cui l'apparecchiatura costruttiva.

Al tema della deviazione, intesa come scostamento del modello dall'oggetto reale rappresentato dalla point cloud, si affiancano, quindi, riflessioni relative anche agli altri contenuti informativi del modello (riguardanti, ad esempio, le

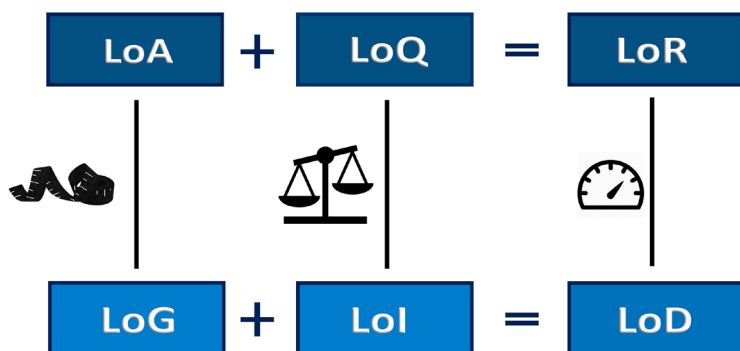


Fig. 18. La reliability del modello deve essere intesa come sinergia dell'accuratezza geometrica (LoA) e della qualità delle fonti delle informazioni (LoQ).

fonti storiche sulle quali sono state avanzate ipotesi ricostruttive di edifici non più esistenti o fortemente modificati).

L'importanza del tema della trasparenza e reliability nel settore della modellazione del patrimonio architettonico ha portato allo sviluppo di interessanti studi, focalizzati, principalmente, sulle modalità di dichiarazione del livello di affidabilità della rappresentazione in relazione al tipo di fonte impiegata⁶⁴.

Borra si concentra sull'affidabilità geometrica, proponendo quattro differenti "livelli di coerenza" della forma del modello: la reliability secondo dati oggettivi (anche derivati da informazioni documentali); la reliability secondo analisi costruttive; la coerenza con il linguaggio architettonico; ipotesi interpretative⁶⁵.

Stefani et al. si concentrano sulla incertezza della visualizzazione delle trasformazioni storiche dell'edificio; la semantizzazione e la granularità del modello consentono la rappresentazione delle incertezze temporali e spaziali⁶⁶.

De Luca et al. utilizzano toni cromatici differenti per esprimere le incertezze spaziali (forma e posizione) e quelle relative alle fasi storiche⁶⁷.

Apollonio et al., trattando come casi studio architetture non realizzate, esprimono la reliability del modello tramite un gradiente cromatico dipendente dai differenti tipi di fonte: disegni originali; schizzi originali; riferimenti progettuali coevi; trattati o libri dell'architetto studiato; riferimenti da trattati architettonici; stili architettonici; sistema costruttivo⁶⁸.

Apollonio e Giovannini estendono tale metodologia ad edifici realizzati includendo, quindi; ulteriori tipi di fonte: rilievo con laser scanner, disegni originali, schizzi originali e disegni di rilievo incompleti⁶⁹, etc.

Bianchini e Nicastro, nell'ottica di garantire il rigore scientifico e la trasparenza dei processi interpretativi dei beni architettonici in ambiente BIM, introducono il Level of Reliability (LOR) come un nuovo attributo a corredo degli oggetti digitali.

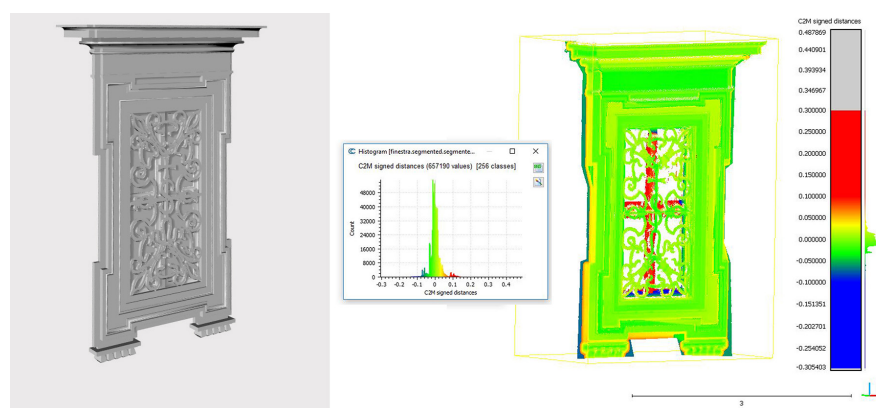


Fig. 19. Analisi della deviazione effettuata per una finestra del monastero di San Basilio, al fine della valutazione del Level of Accuracy (LoA) del modello restitutivo.

Tale parametro, di valore compreso tra 0 e 10, è frutto della media dei diversi fattori che possono influire sia sull'affidabilità geometrica dell'elemento che sulla rispondenza ontologica dell'oggetto virtuale con quello reale. Per una più immediata dichiarazione dell'affidabilità del modello, inoltre, la scala numerica del LOR viene tradotta in una scala cromatica semplificata, con tre soli livelli di affidabilità (alta, media e bassa)⁷⁰.

Al fine della dichiarazione della Reliability di modelli 3D, sono necessarie alcune considerazioni sulle peculiarità degli edifici storici e sulla natura del modello.

La prima riflessione è legata alla mancanza di disponibilità delle informazioni per descrivere esaurientemente e con lo stesso livello di definizione tutti gli elementi architettonici dell'edificio.

Il Level of Reliability, dunque, non può esser riferito al modello nella sua totalità ma deve riguardare i singoli elementi, poiché per ognuno di essi si avrà un grado di conoscenza differente e, quindi, una diversa affidabilità dell'oggetto digitale che lo rappresenta. Pensare di attribuire al modello un Level of Reliability unico, frutto della media dei singoli livelli, sarebbe un'operazione poco significativa al fine della esplicitazione dell'affidabilità della visualizzazione digitale, in quanto accumulerebbe indistintamente oggetti caratterizzati da una abbondante disponibilità di informazioni ad elementi contraddistinti da una conoscenza piuttosto lacunosa.

La seconda riflessione riguarda la natura "complessa" del modello 3D per i beni architettonici.



Fig. 20. Level of Accuracy (LoA) del modello di una finestra del monastero di San Basilio: LoA alto, cioè 70% del modello ha una deviazione inferiore a 20 mm, e il 30% con una deviazione inferiore a 50 mm.

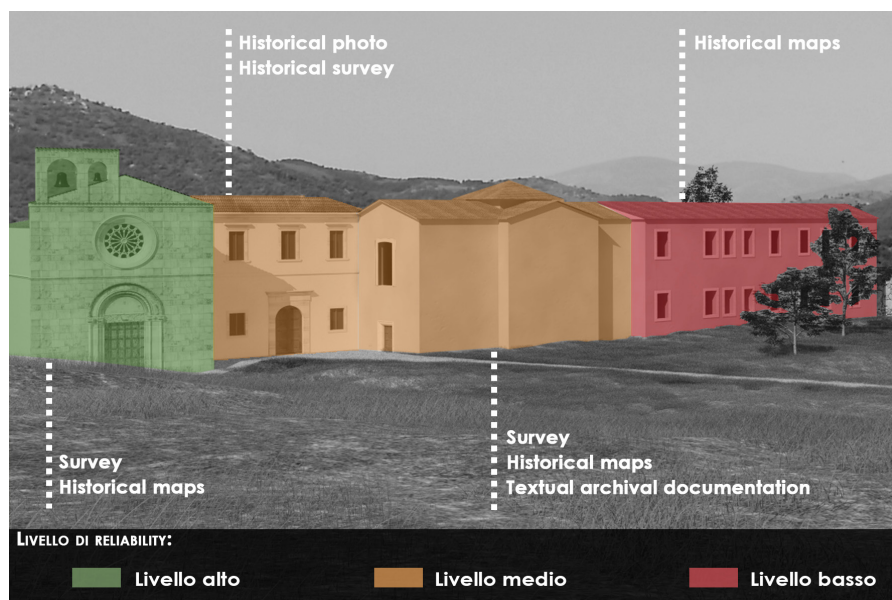


Fig. 21. Trasparenza e reliability della ricostruzione virtuale della zona del S. Basilio, nel XIX sec: dichiarazione e affidabilità delle fonti delle informazioni.

Poiché la rappresentazione tridimensionale del patrimonio non è da intendersi come sola geometria, ma anche come contenuto informativo di varia natura - soprattutto nel caso dell'HBIM -, il tema dell'affidabilità del modello dovrà riguardare ambedue le tematiche. Si dovranno pertanto considerare due livelli di affidabilità:

- il livello di accuratezza (Level of Accuracy - LoA), riguardante l'accuratezza geometrica, misurata come deviazione tra la nuvola di punti e il modello restitutivo;
- il livello di qualità (Level of Quality - LoQ), relativo al contenuto informativo associato al singolo elemento.

I due livelli, insieme, vanno a costituire la misura dell'affidabilità del modello dell'elemento architettonico (Level of Reliability - LoR).

La reliability del modello è dipendente dalle caratteristiche dell'edificio storico, in quanto una maggiore complessità geometrica ed architettonica influisce direttamente sulla costruzione del modello e sulla affidabilità dei suoi componenti; dal Level of Development del modello. Così come il rilievo è legato alla scala di rappresentazione, infatti, la modellazione dipende dal livello di definizione da raggiungere. Il diverso grado di definizione infografico del modello comporterà un differente livello di reliability: a parità di informazioni disponibili su un edificio storico, l'affidabilità del modello è maggiore per un dettaglio geometrico ed

informativo non avanzato, ossia per un Level of Development inferiore. Al progredire del LOG e del LOI, il Level of Reliability del modello diminuisce se non c'è un corrispettivo aumento di accuratezza geometrica, di dati ed informazioni a supporto della creazione degli elementi digitali.

In riferimento all'esame di alcuni casi studio, si propone una standardizzazione della dichiarazione della reliability – intesa come sinergia del LoA e del LoQ - articolata in tre differenti livelli: alto, medio, basso

Per quanto riguarda la reliability geometrica (LoA), muovendo dal confronto dell'accuratezza dei modelli con il dettaglio delle nuvole di punti, si sono stabiliti tre livelli corrispondenti a tre range di deviazione relativi a delle percentuali prefissate di superficie del modello.

In particolare, sulla base della sperimentazione e in riferimento allo studio di Brumana et al.⁷¹ e al livello di definizione normalmente adottato nella pratica professionale, si ha:

- Livello basso per il 70% della superficie del modello caratterizzata da una deviazione superiore ai 50 mm;
- Livello medio quando il 70% del modello presenta valori di deviazione tra 20 mm e 50 mm, e il 30% con una deviazione superiore a 50 mm;
- Livello alto quando il 70% del modello ha una deviazione inferiore a 20 mm, e il 30% con una deviazione inferiore a 50 mm.

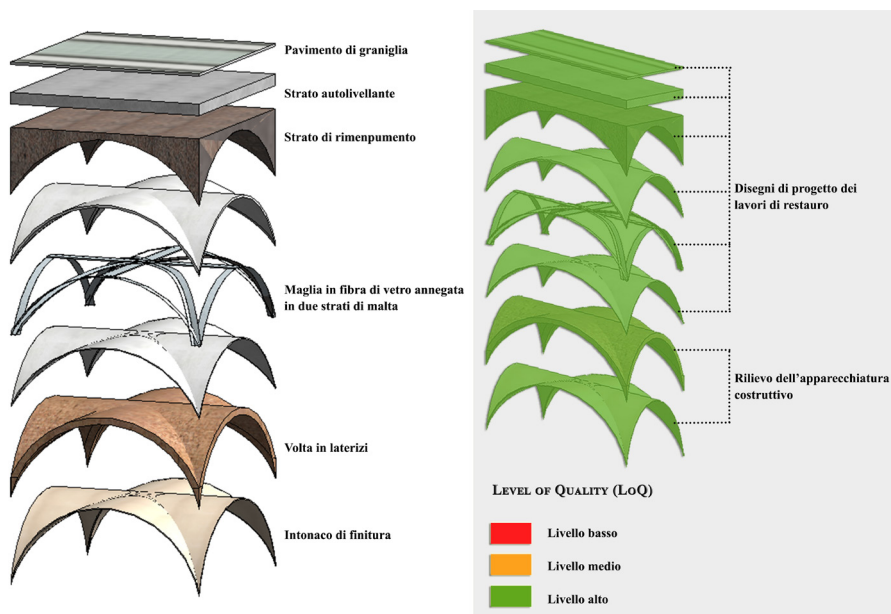


Fig. 21. Modello repositivo e relativo Level of Quality (LoQ) di una volta a crociera di Palazzo Camponeschi (L'Aquila).

Nel caso di un Level of Accuracy inadeguato rispetto ai requisiti della modellazione (obiettivi, caratteristiche dell'oggetto e livello di definizione), il modello deve essere corretto affinché raggiunga il LoA opportuno, secondo un processo iterativo. A tal proposito, si ricorda come la modellazione BIM, per la rappresentazione di forme geometriche complesse, includa anche superfici NURBS o mesh, importate da altre applicazioni⁷².

La reliability del modello attinente i suoi contenuti informativi è legata alle fonti utilizzate, che possono essere primarie, cioè direttamente riguardanti l'elemento architettonico analizzato, oppure indirette, ossia derivate da altri fonti (es. comparazione con elementi di altri edifici, trattati architettonici etc.).

In particolare, si ha:

- Livello di reliability basso per l'impiego esclusivo di fonti indirette, che permettano solo un'ipotesi ricostruttiva dell'oggetto;
- Livello di reliability medio per l'utilizzo di fonti primarie (direttamente riguardanti l'elemento architettonico analizzato) non esaustive, che lascino, cioè, aperti dubbi ed incertezze;
- Livello di reliability alto nel caso di una modellazione fondata sull'uso di fonti dirette, che consentano una conoscenza completa dell'elemento architettonico.

Inoltre, dal momento che i contenuti informativi della rappresentazione possono essere profondamente differenti ed eterogenei tra di loro (informazioni storiche, inerenti al sistema costruttivo, etc.), il livello di qualità deve riguardare i singoli contenuti, conducendo a delle sorta di sub-reliability: affidabilità tecnico-costruttiva, affidabilità storica, etc.

Infine, in considerazione della gradualità del processo di conoscenza di una fabbrica storica, percorso progressivo che perdura anche durante la fase di cantiere di restauro, tale duplice livello di affidabilità non è da considerarsi immutabile bensì variabile in accordo con l'avanzare della conoscenza⁷³.

IV. I modelli per la comunicazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico

4.1. Interpretazione e Presentazione

L'interpretazione e la Presentazione del patrimonio architettonico, nel loro intrinseco legame con la conoscenza, comprensione e comunicazione dei valori di un'opera, rientrano tra le strategie volte alla valorizzazione e conservazione del bene stesso¹.

Già nel 1967, la Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio, presieduta dall'onorevole Franceschini, metteva in luce l'importanza della fruibilità del patrimonio da parte della collettività, affermando negli Atti che: "Dei beni culturali debbono essere assicurate adeguate forme di godimento pubblico e la più ampia facoltà di studio."². La tutela e la valorizzazione delle opere riconosciute come "testimonianza materiale avente valore di civiltà" venivano dunque legate all'utilizzo del bene e alla funzione sociale che esso riveste all'interno della comunità.

Tra i più significativi studi dedicati ai concetti di Interpretazione e Presentazione, vi è "Interpreting Our Heritage starts from a dictionary definition" di Tielden³.

"The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites", con il termine "Interpretazione", racchiude tutte quelle attività volte a rafforzare la consapevolezza e la comprensione del patrimonio culturale.

Per "presentazione", invece, intende la comunicazione dei contenuti interpretativi, che può avvenire in diversi modi: attraverso installazioni fisiche, visite guidate, applicazioni multimediali, etc.

La Carta definisce sette principi cardine su cui fondare l'Interpretazione e la Presentazione del patrimonio:

- Access and Understanding: l'Interpretazione e la Presentazione devono favorire l'accesso e la comprensione dei siti culturali da parte del pubblico.

- **Information Sources:** l'Interpretazione e la Presentazione devono fondarsi su metodologie scientifiche comunemente riconosciute, oppure su tradizioni culturali ancora vive; in particolare, le ricostruzioni visuali devono essere basate su una sistematica analisi dei dati forniti dalle eterogenee fonti, le quali dovranno essere opportunamente documentate.
- **Attention to Setting and Context:** l'Interpretazione e la Presentazione devono riguardare i valori tangibili e intangibili del sito e del suo contesto, mettendo in evidenza le relazioni che intercorrono tra l'opera e il suo ambiente sociale, culturale, storico e naturale.
- **Preservation of Authenticity:** l'Interpretazione e la Presentazione devono rispettare l'autenticità del sito culturale nello spirito del Nara Document (1994).
- **Planning for Sustainability:** il programma di Interpretazione di un sito deve tenere in considerazione la sostenibilità sociale, economica e ambientale.
- **Concern for Inclusiveness:** l'Interpretazione e la Presentazione del patrimonio devono essere il risultato della collaborazione tra le diverse parti interessate (professionisti del settore, comunità, etc.).
- **Importance of Research, Training, and Evaluation:** la ricerca e la formazione continua costituiscono un aspetto essenziale dell'Interpretazione di un sito culturale, la quale va considerata in incessante evoluzione.

Per l'Interpretazione e la Presentazione del patrimonio culturale, un ruolo cruciale è rivestito dalla cosiddetta "interpretative infrastructure", vale a dire le "physical installations, facilities, and areas at, or connected with a cultural heritage site that may be specifically utilised for the purposes of interpretation and presentation including those supporting interpretation via new and existing technologies"⁴.

In riferimento ai concetti appena richiamati, la modellazione 3D, in quanto strumento per l'analisi, la comprensione e la conoscenza, può essere intesa come Interpretazione del patrimonio architettonico.

Allo stesso tempo, la modellazione, intesa nella sua accezione di rappresentazione complessa dove elementi tridimensionali sono relazionati ad eterogenei contenuti informativi, favorisce la comunicazione dei valori storici ed architettonici del bene. Il modello 3D, dunque, può essere considerato anche Presentazione del patrimonio, poiché rientra nella "comunicazione attentamente pianificata dei contenuti interpretativi".

La visualizzazione del modello tridimensionale, unita ad applicazioni di tecnologie avanzate, quali Realtà Virtuale e Realtà Aumentata, permette una più facile fruizione dei contenuti informativi che sostanziano la modellazione stessa, facilitando la comprensione e la conoscenza dei beni architettonici e, quindi, la loro valorizzazione e conservazione.

4.2. Modalità di rappresentazione

Lo sviluppo delle ICT (Information and Communications Technology) e delle applicazioni digitali di Realtà Virtuale (VR) e Realtà Aumentata (AR) offre interessanti opportunità per l'interpretazione e la comunicazione del patrimonio architettonico.

Tali potenzialità, intrinsecamente correlate al cosiddetto stato "on-line"⁵ che caratterizza la nostra cultura, sono legate alla possibilità di accedere ad un grande quantitativo di informazioni in ogni luogo e in ogni momento, attraverso modalità intuitive e partecipative.

Il rapido diffondersi di tecnologie user-friendly e accessibili a chiunque, ha immerso la vita quotidiana delle persone in una dimensione digitale pervasiva, che ha modificato e sta tuttora modificando le modalità di interazione con l'ambiente circostante.

Tale dimensione digitale non ha condotto, tuttavia, ad un fenomeno di "l'iperrealtà"⁶, in cui la simulazione è più reale del reale stesso e l'utente non è in grado di distinguere tra le due, bensì si è venuto a costituire una cultura digitale che ridefinisce i rapporti tra reale e virtuale: un legame che non vede il prevalere di uno sull'altro ma, piuttosto, una integrazione dei due - che rimangono comunque ben riconoscibili - finalizzata ad un arricchimento dell'esperienza⁷.

In tale contesto, la visualizzazione del modello 3D di un bene architettonico, coniugata con applicazioni digitali riconducibili alla cosiddetta Mixed Reality, si offre quale interessante strumento per lo studio, la conoscenza, la comunicazione e la valorizzazione.

La Mixed Reality (MR) si riferisce al differente stato della rappresentazione digitale all'interno del cosiddetto "virtuality continuum", ossia quell'intervallo compreso tra la percezione di un ambiente esclusivamente reale e di uno totalmente virtuale. Tra i due estremi dell'intervallo, vengono individuate sei differenti classi che combinano assieme, in proporzioni variabili, il mondo reale e il mondo virtuale⁸.

L'espressione "Realtà Virtuale" (VR) – utilizzata per la prima volta nel 1965⁹ – sta ad indicare un ambiente "artificiale" nel quale l'osservatore è totalmente immerso e con cui può interagire; la percezione costruita tramite computer mira a sostituire completamente quella esterna reale.

La Realtà Aumentata (AR), invece, si configura come una visualizzazione in cui l'ambiente reale è "aumentato" attraverso oggetti virtuali.

Mentre nella Realtà Virtuale la percezione del mondo reale viene limitata quanto più possibile, nella Realtà Aumentata essa assume un ruolo chiave poiché costituisce il fondamento della visualizzazione digitale.

Speculare alla Realtà Aumentata si ha la Augmented Virtuality (AV), ottenuta dalla sovrapposizione su una realtà virtuale 3D di oggetti provenienti dal mondo reale¹⁰.

Applicazioni di Mixed Reality (MR), Realtà Virtuale (VR) e Realtà Aumentata



Fig. 1. Applicazione di Realtà Aumentata per il centro storico della città dell'Aquila: palazzo dell'INA (1934), Quattro Cantoni.

(AR), da fruire sia da remoto che in sito, possono favorire la comprensione e la conoscenza delle caratteristiche e dei valori dei beni architettonici, sia all'interno della comunità scientifica che non.

In tale ambito, le applicazioni di MR possono essere intese come nuove forme di Digital Heritage¹¹, vale a dire nuove espressioni culturali del fare umano che, derivanti da beni tangibili, vanno a costituire nuove forme di eredità e che possono rivestire un ruolo di rilievo nelle attività di interpretazione, comunicazione e conservazione dei beni stessi¹².

La Realtà Virtuale, in qualità di ambiente costruito artificialmente attraverso la computer grafica, con cui l'osservatore può interagire, offre interessanti applicazioni nel settore del patrimonio architettonico.

La possibilità di essere immersi totalmente in uno spazio architettonico non più esistente o mai realizzato, oppure semplicemente non accessibile e, quindi, non fruibile, diviene un potente strumento comunicativo dei valori storici ed architettonici dell'oggetto di studio.

I modelli 3D e le ricostruzioni digitali - effettuate sulla base del rilievo architettonico e dell'analisi storico-critica -, abbinati alle moderne tecnologie di Realtà Virtuale possono essere fruiti in maniera interattiva, potenziando il loro valore comunicativo ed arrivando a coinvolgere un pubblico costituito non solo da esperti.

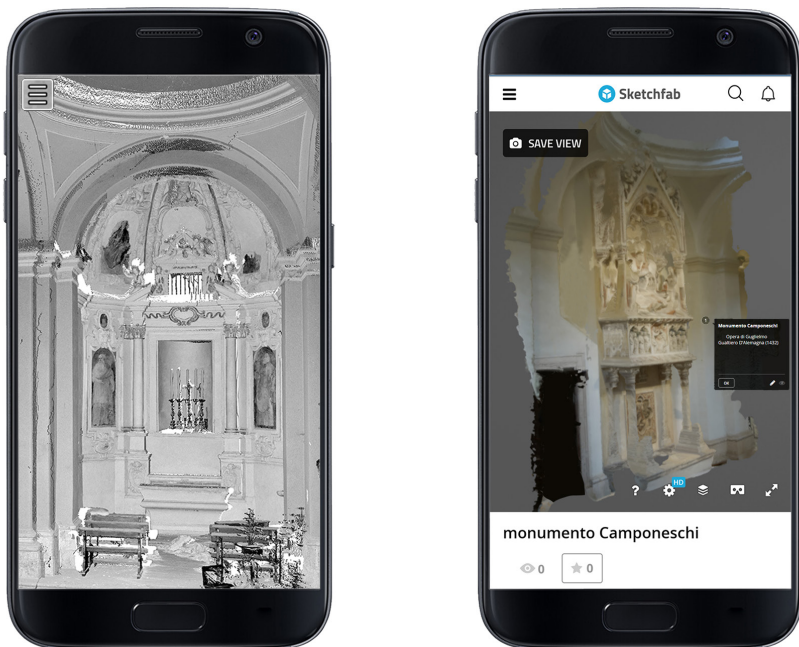


Fig. 2. Navigazione online di nuvole di punti o modelli mesh, attraverso Potree e Sketchfab: chiesa di San Giuseppe Artigiano, L'Aquila.

La dinamicità e la possibilità di interagire con la visualizzazione digitale, introdotte dalle applicazioni VR, consentono all'utente di immergersi al suo interno, favorendo la conoscenza e la comprensione di spazi ed architetture ricostruiti virtualmente.

In ragione di tali potenzialità, negli ultimi anni si è assistito ad un proliferarsi dei cosiddetti tour virtuali, che permettono la visita da remoto di un bene architettonico o di un intero borgo, come nel caso di Montepulciano 3D¹³.

Ad applicazioni finalizzate principalmente a scopi didattici o di e-tourism (es. 360Visio) si affiancano quelle che, fondate sul metodo scientifico, mirano alla conoscenza e comunicazione scientifica del bene, oltre ad essere utilizzabili anche come strumento didattico e di svago (es. Visualizing Venice¹⁴).

Diverse ed eterogenee possono essere le applicazioni di Realtà Virtuale, legate, in primis, alla natura del modello 3D che si vuole navigare e fruire virtualmente: modelli numerici, modelli matematici, panorami sferici.

La navigazione di nuvole di punti e modelli mesh si rivela particolarmente utile nel caso di beni architettonici non accessibili oppure per la loro visita da remoto. In presenza di una forma architettonica difficilmente riconducibile ad una matrice geometrica oppure per una rappresentazione tridimensionale più speditiva,

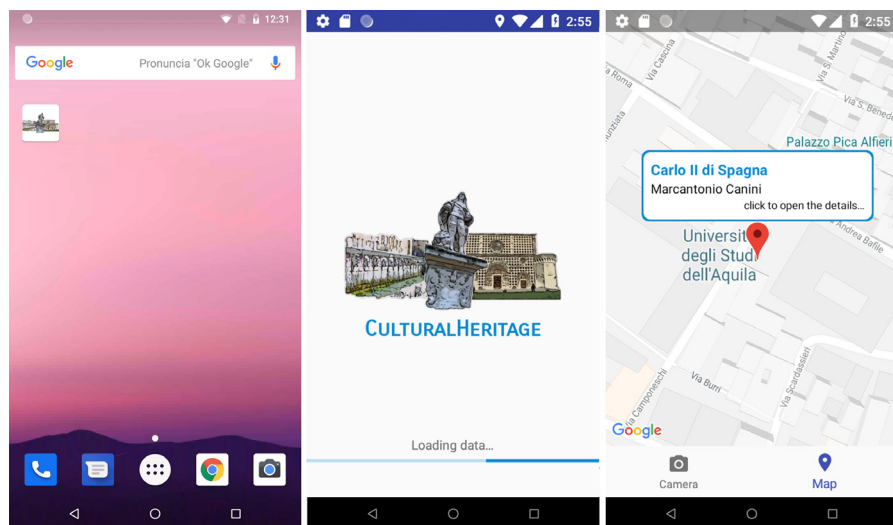


Fig. 3. “CulturalHeritage”: applicazione di Realtà Aumentata per dispositivi mobili, sviluppata all’interno del progetto INCIPICT (www.incipict.univaq.it).

il modello numerico offre la possibilità di esperire virtualmente il bene architettonico che, diversamente, non sarebbe accessibile.

La condivisione della nuvola di punti di un manufatto architettonico può avvenire attraverso Potree, una piattaforma web, basata sulla renderizzazione di nuvole di punti di grandi dimensioni. Tramite un webserver installato localmente su un pc, la nuvola di punti viene processata e convertita, per poi essere caricata su una pagina web generata dallo stesso Potree.

La nuvola di punti - e quindi il bene architettonico rilevato - diventa così fruibile virtualmente da remoto, anche attraverso l’ausilio di semplici dispositivi mobili, come smartphone e tablet.

L’utilizzo di visori per la realtà virtuale con cui navigare la nuvola di punti del bene architettonico, invece, permette un’esperienza di visita immersiva, nella quale l’utente ha la percezione di muoversi all’interno dello spazio architettonico scansionato.

Oggigiorno, possono essere impiegati, a tal fine, alcuni degli stessi software per la gestione delle nuvole di punti, impiegati all’interno delle procedure di rilievo. Scene, ad esempio, tramite l’ausilio di un visore, offre la possibilità di esplorare virtualmente un bene architettonico attraverso la navigazione della nuvola di punti.

Per quanto riguarda la navigazione di modelli numerici per superfici mesh, è possibile utilizzare il sito web Sketchfab.

I modelli mesh, generati ad esempio tramite software fotogrammetrici, vengono



Fig. 4. Santa Maria ad Cryptas, Fossa (L'Aquila), XIII sec.: viste della nuvola di punti renderizzata, acquisita con il laser scanner Faro S70.

esportati in formato .obj per le superfici e .jpg per la texture, e caricati all'interno del sito web. Oltre al modello mesh, è inoltre possibile inserire informazioni e hyperlink che rimandano ad altre pagine web.

Tale piattaforma web, disponibile anche su dispositivi mobili, permette dunque una navigazione facilitata dei modelli mesh e dei contenuti informativi ad esso collegati, favorendo la condivisione della conoscenza e la valorizzazione del patrimonio architettonico.

La fruizione di modelli continui attraverso applicazioni di Realtà Virtuale, invece, offre la possibilità di esplorare spazi architettonici mai realizzati o non più esistenti perché appartenenti a fasi storiche passate.

I modelli matematici del patrimonio architettonico (NURBS o CSG), realizzati sulla base del rilievo e dell'analisi documentale, possono essere fruiti tramite il ricorso a differenti procedure.

L'esperienza di visita virtuale può avvenire attraverso l'uso di visualizzatori VR come Unreal Engine o Unity. Oppure, per una navigazione da smartphone, è possibile impiegare il sito web Sketchfab che supporta, oltre i modelli mesh, anche la visualizzazione di annotazioni e informazioni.



Fig. 5. Visita virtuale della chiesa di Santa Maria ad Cryptas, Fossa (L'Aquila), XIII sec.: navigazione della nuvola di punti, attraverso il software Scene e un visore per Realtà Virtuale.

Nel caso di modelli BIM, invece, la rappresentazione tridimensionale dell'edificio storico assieme a parte del contenuto informativo ad essa collegato, può essere fruita attraverso l'ausilio di piattaforme cloud-based – come quelle dell'Autodesk A360 o BIM360. L'utilizzo di tali applicazioni da remoto o in sito, attraverso dispositivi mobili, permette un rapido accesso al modello e a parte delle informazioni in esso contenute, favorendo la conoscenza del bene architettonico.

Parallelamente, l'applicazione VR Revit Live dell'Autodesk permette, attraverso il pulsante "go live" presente all'interno del software Revit, di adattare, quasi istantaneamente, il modello alla navigazione virtuale, semplificandolo e alleggerendolo.

Il vantaggio di tale applicazione è l'avere a disposizione una Realtà Virtuale compatibile anche con il fondamento informativo del BIM, ossia è possibile, oltre alla visualizzazione del modello in tempo reale, anche l'accesso ai dati ad esso collegati, seppur non nella loro interezza.

Sono disponibili, infatti, solo alcune delle informazioni di sistema (informazioni strutturali, sui vincoli e sulle famiglie degli elementi selezionati), mentre tutti i parametri aggiuntivi, utilizzati per rispondere alle particolari esigenze di un bene architettonico, accessibili tramite le piattaforme cloud-based, non vengono visualizzati.

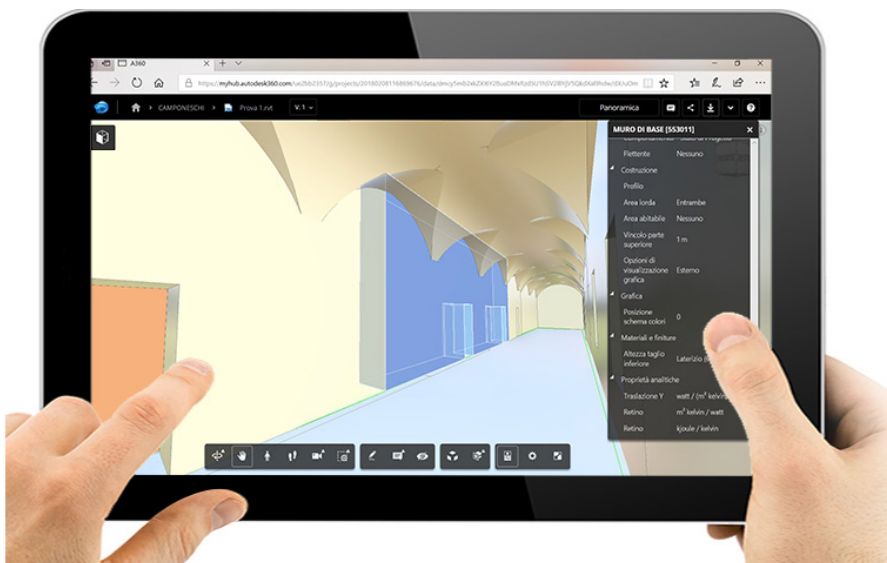


Fig. 6. Navigazione del modello BIM tramite la piattaforma cloud-based A360: accesso al modello e a parte del sistema informativo ad esso collegato.

Accanto alle rappresentazioni numeriche e matematiche, tra i modelli utili per la navigazione in Realtà Virtuale di spazi ed architetture vanno annoverati i panorami sferici.

Le immagini panoramiche sono il risultato della proiezione su una sfera delle foto scattate da un centro di proiezione coincidente con il centro della sfera stessa la quale, successivamente, deve essere proiettata su un piano bidimensionale. L'impianto teorico alla base della realizzazione dei panorami sferici multi-immagine è stato sviluppato negli anni '90 da Szelisky¹⁵.

Oltre che strumento per il rilievo architettonico¹⁶, le immagini panoramiche rivestono un ruolo di interesse anche nell'ambito della comunicazione del patrimonio architettonico, grazie alle possibilità offerte per la visualizzazione di spazi ed architetture.

I panorami sferici consentono un coinvolgimento maggiore dell'osservatore rispetto ad una immagine statica quale un rendering: l'interattività del panorama, infatti, sebbene limitata a punti di vista predefiniti, permette all'utente di immergersi nella scena rappresentata, con un impatto emozionale di gran lunga superiore a quello della stessa ricostruzione visualizzata in maniera statica.

La "navigazione" dei panorami introduce nella rappresentazione dinamicità e tale movimento, seppur ancorato ad un punto di vista fisso, consente di variare a piacimento l'inquadratura, portando l'osservatore ad immergersi nella realtà raffigurata.

Inoltre, collegando tra loro più immagini equirettangolari, possono essere creati dei tour virtuali (Virtual Tour) che, tramite la possibilità fornita all'osservatore di spostarsi tra più punti di vista, consentono di simulare virtualmente la visita di uno spazio architettonico (un esempio è costituito da "360 VISIO", pagina web dedicata a tour virtuali costruiti attraverso l'uso di foto panoramiche).

Antesignano del panorama sferico e, più in generale, delle possibilità di fruizione e immersione in uno spazio virtuale che esso offre, è il Panorama, costituito da una serie di prospettive centrali ricucite assieme su un supporto cilindrico¹⁷.

Su brevetto di Robert Barker, nel 1787, nascono le cosiddette rotonde panoramiche, strutturate in modo tale da illudere lo spettatore, situato al centro della rotonda, di essere immerso nello spazio rappresentato dal dipinto panoramico appeso sulle pareti circolari. Le diverse prospettive, ricucite tra loro, erano accumulate dallo stesso punto di vista, che doveva poi essere quello dell'osservatore. Molteplici erano invece i punti di fuga, disposti radialmente e posizionati alla stessa altezza, così da dare l'illusione di un'ambiente aperto, privo di limiti spaziali.

Sempre più facili da realizzare, i panorami sferici possono essere generati, in tempi decisamente contenuti, attraverso l'utilizzo di camere panoramiche oppure semplicemente tramite smartphone. Tuttavia, a fronte di una maggior velocità di acquisizione e di una più facile disponibilità di tali strumenti, evidente soprattutto nel caso dei cellulari, vi sono molte limitazioni, tra cui la scarsa risoluzione delle immagini. Per un risultato migliore in termini di qualità dell'immagine e, quindi, di capacità di coinvolgimento dell'utente, è preferibile il ricorso a panorami multi-immagine, ottenuti dalla "cucitura" (stitching) di più foto, scattate con l'ausilio di un treppiede e di una testa panoramica ruotando la macchina fotografica attorno al punto nodale della lente.



Fig. 7. Panorama sferico della chiesa di San Michele Arcangelo, San Vittorino (L'Aquila).

Affinché i singoli scatti possano essere ricuciti tra loro, è necessario che vi sia una sufficiente area di sovrapposizione tra immagini consecutive, che consenta l'individuazione di punti omologhi.

Sfruttando l'analogia tra immagini fotografiche e proiezioni centrali, gli algoritmi dei software di stitching riposizionano gli scatti nello spazio rispetto al centro di proiezione (uguale in tutte le foto), cucendoli tra loro sulla base della conoscenza della distanza principale, pari alla distanza focale, e del riconoscimento di punti corrispondenti tra foto consecutive. Ogni fotogramma viene, dunque, proiettato sulla superficie di una sfera di raggio pari alla distanza focale e con il centro coincidente con il centro di proiezione, generando un fotomosaico sferico, in cui ogni punto è descritto da due coordinate sferiche, dipendenti una dall'angolo azimutale e l'altra da quello zenitale¹⁸.

Successivamente, vi è la fase di creazione dell'immagine panoramica (spesso chiamata fase di rendering alludendo al processo di produzione dell'immagine), che comporta la rappresentazione di una sfera su una superficie bidimensionale, problema proprio della cartografia.

Tra le soluzioni più utilizzate all'interno dei software di stitching, vi sono le proiezioni cilindriche, cubiche ed equirettangolari (o sferiche).

In quest'ultima tipologia – quella di maggiore interesse per la realizzazione di tour virtuali –, i punti della sfera vengono trasposti su una superficie cilindrica di altezza pari allo sviluppo di un meridiano. I meridiani e i paralleli della sfera vengono rappresentati da linee rette verticali e orizzontali poste a distanza costante, andando a formare un reticolo omogeneo in cui i poli hanno la stessa lunghezza dell'equatore. Si tratta di una rappresentazione né conforme né equivalente, che riguarda la sola trasformazione delle coordinate polari in coordinate cartesiane. Si generano, dunque, delle deformazioni delle aree dell'immagine, maggiori all'avvicinarsi ai poli¹⁹.

Fotografie a 360° così generate consentono, attraverso l'ausilio di diversi dispositivi (smartphone, pc, visori), di esplorare uno spazio liberamente, variando l'inquadratura. Se tali immagini offrono l'opportunità di visitare luoghi lontani o inaccessibili, a maggior ragione si rivelano utili per la visualizzazione e la comunicazione di spazi ed architetture non più esistenti o mai realizzati.

Per quest'ultima finalità si rende, allora, necessario modificare le immagini panoramiche generate a partire dall'acquisizione di scatti della realtà, per potervi inserire le ricostruzioni tridimensionali degli edifici demoliti o mai costruiti.

Il processo di realizzazione del tour virtuale si comporrà, quindi, di due distinte fasi: la prima riguardante la modellazione digitale degli edifici e degli spazi urbani non più esistenti o mai realizzati, sulla base della documentazione archivistica e del rilievo architettonico; la seconda relativa alla realizzazione dell'immagine panoramica. Una volta definite le stazioni di presa da cui scattare le foto da elaborare, poi, per la creazione del panorama, si imposta lo stesso punto di vista per la camera panoramica all'interno della scena del modello 3D.

Affinché vi sia una buona corrispondenza tra i due centri di proiezione, può essere opportuno ricorrere all'ausilio della trilaterazione per bloccare la posizione

della macchina fotografica e riportarla correttamente all'interno della scena digitale²⁰.

Per ogni panorama creato dallo stitching degli scatti acquisiti con l'ausilio di una testa panoramica e un tripode, si genera un corrispondente rendering del modello 3D. Dalla sovrapposizione delle due immagini, effettuata all'interno di un comune software di grafica raster, si otterrà una nuova rappresentazione equirettangolare.

La modifica del panorama dell'ambiente esistente, per ospitare le ricostruzioni digitali, può essere operata più agevolmente se dalla rappresentazione equirettangolare si passa a quella cubica (proiezione della sfera sulle sei facce piane di un cubo), poiché priva delle deformazioni proprie della proiezione sferica²¹. Una volta effettuato il fotoritocco, dalla rappresentazione cubica si ritorna alla proiezione equirettangolare, da sovrapporre all'immagine prodotta dalla renderizzazione del modello.

I panorami sferici generati dall'unione delle equirettangolari dello stato attuale e delle ricostruzioni digitali possono, poi, essere importati in software appositi (ad es. Easypano Tourweaver oppure il software di photo-stitching Kolor Panotour) per la creazione di tour virtuali.

All'interno di tali programmi, le foto a 360° vengono collegate tra loro mediante l'inserimento di hotspot, che consentono anche l'aggiunta di hyperlink a contenuti informativi di varia natura presenti nel web (testi, foto, etc.).

La navigazione è possibile attraverso l'utilizzo di una piccola mappa su cui orientarsi, oppure mediante appositi comandi; nel caso di utilizzo di smartphone dotati di giroscopio, la navigazione è effettuabile direttamente tramite gli spostamenti del dispositivo.

Tali panorami sferici, modificati con l'inserimento di ricostruzioni digitali e collegati tra loro, vanno a formare dei percorsi di visita che, seppur discreti in quanto vincolati a singoli punti di vista predefiniti, consentono di esplorare uno spazio architettonico che, diversamente, non sarebbe fruibile.



Fig. 8. Atrio del tribunale non realizzato, su piazza Palazzo (L'Aquila): panorama sferico ottenuto dal modello digitale.

Le applicazioni di Realtà Aumentata (AR) costituiscono una forma di comunicazione che sta assumendo sempre più importanza all'interno del settore della valorizzazione del patrimonio architettonico.

La Realtà Aumentata offre l'opportunità di riconnettere la dimensione del reale con quella virtuale delle applicazioni di rilievo digitale e di modellazione 3D, grazie alla possibilità di interazione in tempo reale. In tal modo, la percezione dello stato attuale dei luoghi viene arricchita da informazioni di varia natura (dati multimediali, testuali, visuali, etc.), accessibili attraverso l'ausilio di dispositivi mobili quali smartphone e tablet²².

L'arricchimento della realtà percepita dall'osservatore con contenuti digitali rappresenta una nuova modalità di fruizione di spazi ed architetture, capace di favorire la comprensione dei valori storici ed estetici del patrimonio.

Le applicazioni AR, dunque, costituiscono un nuovo ed importante strumento di comunicazione e valorizzazione per il patrimonio architettonico.

La percezione della realtà viene arricchita da contenuti informativi che possono essere di diversa natura (informazioni testuali, immagini d'archivio, modelli 3D o video come nel caso del video mapping), a seconda delle caratteristiche del bene architettonico in questione e delle esigenze specifiche.

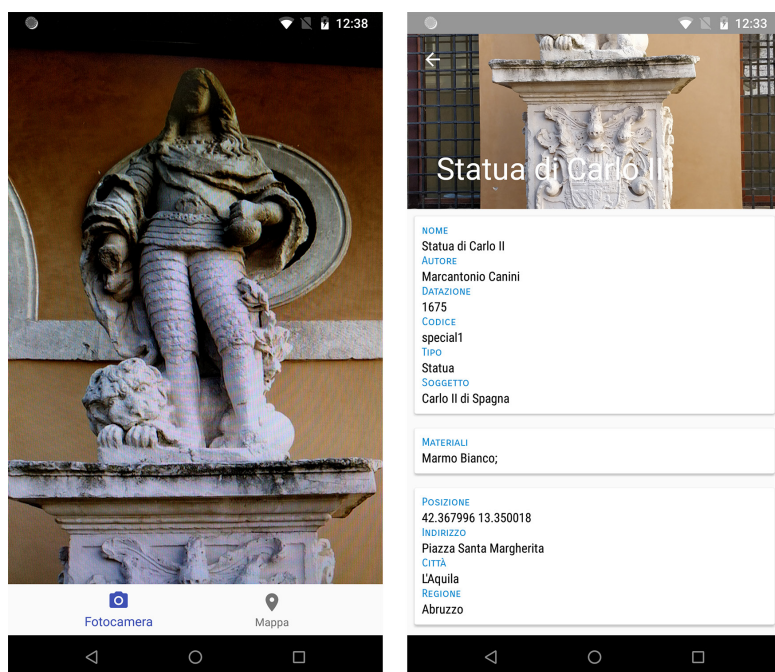


Fig. 9. Applicazione AR "CulturalHeritage": sovrapposizione di contenuti digitali sulla statua di Carlo II, L'Aquila.

La possibilità di accedere in presenza del manufatto a schede informative riguardanti la sua storia e le sue qualità artistiche, è assai utile per la conoscenza e valorizzazione del patrimonio²³.

In presenza di edifici o spazi urbani fortemente stratificati, invece, l'utilizzo di modelli 3D si rivela di particolare interesse. Nello specifico, la sovrapposizione sul manufatto di una ricostruzione virtuale di una fase storica precedente, facilita la comprensione del processo formativo che ha condotto il bene ad assumere le caratteristiche attuali, favorendo la comprensione dei valori storici.

Allo stesso tempo, il medesimo approccio può essere utilizzato per architetture mai completate o non realizzate, per le quali l'applicazione AR consente la visualizzazione e la fruizione delle ricostruzioni digitali, realizzate sulla base del rilievo e dei documenti d'archivio, direttamente in sito, sovrapposte alla realtà circostante.

La Realtà Aumentata può essere esperita anche da remoto, attraverso delle app (quale ad es. Augment) che, inquadrando un'immagine predefinita, come una pianta, permettono la visualizzazione del modello 3D.

Tali applicazioni interattive facilitano l'interpretazione e la comunicazione dei valori del patrimonio architettonico. I benefici riguardano sia gli studiosi che le comunità e le recenti linee di "eTourism".

La possibilità di accedere facilmente alle eterogenee informazioni su cui si fondano tali applicazioni, favorisce infatti la conoscenza dei beni architettonici e, quindi, la loro valorizzazione e conservazione.

Tra le nuove modalità di comunicazione e valorizzazione del patrimonio culturale riconducibili al concetto di Realtà Aumentata possono essere annoverate le videoproiezioni architettoniche, consistenti nella proiezione di immagini di grande formato e video su superfici architettoniche.

Nello specifico, Il video mapping può essere considerato una particolare forma di Realtà Aumentata (AR), in cui la superficie architettonica diventa lo schermo da osservare, senza bisogno di appositi devices (occhiali, visori, etc.). In tal senso, si tratta di una "realtà aumentata spaziale" (SAR) in cui l'utente è immerso nella rappresentazione virtuale semplicemente guardando l'ambiente reale circostante²⁴.

La nascita di tale tecnica di comunicazione audiovisiva è rintracciabile nei settori della video arte e delle video installazioni che, a partire dagli anni '80 e '90, organizzarono proiezioni su piccole superfici e in luoghi ristretti, come musei o spazi urbani. Il limite tecnologico dovuto alla mancanza di proiettori potenti e di elevata qualità, che consentissero la proiezione su ampie superfici, viene superato solo dagli anni '90, prima con la nascita dei primi proiettori analogici per ampie superfici e, poi, con i videoproiettori digitali dalle elevate prestazioni, a inizi 2000²⁵. Lo sviluppo tecnologico, quindi, con la nascita di Digital Projector potenti e di facile trasporto, attraverso cui proiettare immagini Full HD, ha reso possibile il diffondersi del video mapping, come semplice spettacolo o come strumento per la comunicazione e valorizzazione.



Fig. 10. Applicazione AR per la conoscenza della città storica: visualizzazione di fasi storiche precedenti dell'area del San Basilio (L'Aquila) attraverso dispositivi mobili.

Affinché la videoproiezione architettonica raggiunga l'obiettivo, trasportando l'osservatore all'interno della rappresentazione, è fondamentale che vi sia una buona corrispondenza tra la superficie architettonica e la proiezione stessa. Fondamentale diventa dunque il processo di costruzione della videoproiezione, articolato in tre fasi: il rilievo della superficie architettonica; l'elaborazione del video da proiettare; la regolazione del sistema di proiezione²⁶.



Fig. 11. Applicazione di Realtà Aumentata: visualizzazione della facciata non completata della chiesa di Santa Margherita (L'Aquila), in sovrapposizione allo stato attuale.

Nel settore del patrimonio architettonico, le proiezioni architettoniche possono essere impiegate per scopi differenti: come narrazione, prefigurazione di un intervento di restauro, comunicazione dei valori di un bene oppure per sovrapporre alla realtà una configurazione precedente²⁷.

La stessa metodologia relativa alla proiezione su superfici architettoniche può essere utilizzata anche su modelli mock-up di architetture, con evidenti vantaggi in termini economici e di fattibilità.

V. Modelli interpretativi per il patrimonio architettonico dell'Aquila

5.1. Introduzione

Per la sperimentazione sull'uso dei modelli per l'analisi storico-critica del patrimonio architettonico, la scelta dei casi studio è stata motivata dalla volontà di analizzare temi e problemi relativi a diverse tipologie di opere architettoniche, caratterizzate da peculiarità ed esigenze differenti.

Le caratteristiche del bene architettonico analizzato e le finalità della rappresentazione, come detto in precedenza, giocano un ruolo chiave nella definizione delle modalità e delle procedure per la modellazione e visualizzazione.

Così, la modellazione di edifici esistenti nella loro configurazione attuale, oppure la ricostruzione virtuale di fasi storiche passate o di interventi mai compiuti, pongono istanze differenti dalle quali derivano scelte metodologiche specifiche. In ragione di tali considerazioni, si è deciso di concentrare l'attenzione su casi studio che presentassero una natura profondamente differente tra di loro e che, quindi, richiedessero un approccio differente.

In particolare, sono stati scelti tre casi di studio all'interno del patrimonio architettonico della città dell'Aquila, riguardanti un esempio di architettura realizzata, uno di architettura trasformata ed uno di architettura incompiuta.

Il primo caso è costituito dai portici dei Quattro Cantoni tra il Corso Vittorio Emanuele e via San Bernardino, comprendente il Banco di Napoli, il Palazzo dell'INA e il palazzo dell'ex Genio Civile. Si tratta del progetto di sistemazione di una porzione di tessuto urbano compresa nel cuore della città, volto alla monumentalizzazione dell'area e realizzato durante il regima fascista.

Il secondo tema di studio è riferito ad uno spazio architettonico fortemente modificato e stratificato, costituito da piazza San Basilio, le cui trasformazioni storiche hanno portato al susseguirsi, durante i secoli, di paesaggi urbani pro-

fondamente differenti tra loro. Attraverso la modellazione tridimensionale, si è voluto ricostruire virtualmente quella porzione di centro storico nelle sue diverse fasi storiche.

I portici dei Quattro Cantoni e le modificazioni più significative dell'area di San Basilio rientrano nel programma di ammodernamento e monumentalizzazione del centro storico dell'Aquila, che interessò la città durante il ventennio fascista. Il terzo ed ultimo tema, invece, riguarda un esempio di architettura "rimasta su carta", vale a dire mai realizzata. Nello specifico, si tratta del progetto mai portato a compimento della chiesa gesuitica di Santa Margherita (XVII sec.), rimasta incompleta nella facciata e priva del transetto e della cupola inizialmente previsti.

Pur nelle scelte operative differenti, dettate dalle specifiche istanze poste da architetture profondamente diverse tra loro, i tre casi studio rimangono accomunati dal fondamento teorico-metodologico posto alla base della sperimentazione, consistente nell'analisi storico-critica fondata sul rilevamento e l'analisi archivistico-documentale.

5.2. Architettura realizzata: i portici dei Quattro Cantoni

La monumentalizzazione della città attraverso la sistemazione dei Quattro Cantoni si inserisce in un ben più ampio sistema di ridisegno della città che, iniziato a partire dall'ultimo quarto del XIX sec., si protrarrà sino alla prima metà del novecento. Tale operazione coinvolge gli assi storici del tessuto urbano del Corso Vittorio Emanuele e del Corso Principe Umberto (cardo e decumano), sui quali si interviene con la sostituzione di molti degli edifici e l'introduzione di tipologie edilizie a portico, con destinazione commerciale del piano terra e del mezzanino¹.

A dare avvio a questa importante operazione di rinnovamento della morfologia urbana è la realizzazione all'incrocio dei due assi del Regio Liceo-Convitto-Biblioteca (1878-1882), su progetto dell'arch. Alessandro Mancini, che diverrà, poi, il riferimento e l'elemento ordinatore delle successive trasformazioni del tessuto storico². L'edificio, riprendendo la giacitura del fronte nord del Palazzo cinquecentesco di Margherita d'Austria, consente un sostanziale allargamento della sezione stradale di via Principe Umberto.

Lo spirito innovatore che sostanzia il progetto, volto al rafforzamento del polo culturale esistente e alla realizzazione di una sede altamente rappresentativa, è tale da sacrificare anche importanti preesistenze come la chiesa di San Francesco a Palazzo (risalente al 1254), nonostante le forti opposizioni.

L'apprezzamento dell'intervento e il desiderio, sempre più condiviso dalla cittadinanza, di rinnovamento del centro storico spinse l'Amministrazione comunale a portare avanti il progetto di prolungamento dei portici fino a via Tre Marie.

Il piano attuativo generale (1883), redatto dall'ingegnere municipale Francesco



Fig. 1. Allargamento del Corso e di via San Bernardino, col nuovo allineamento imperniato nel Real Liceo, nel progetto di sistemazione dell'area (Archivio di Stato di L'Aquila, categoria X, busta 176).

Catalani, prevedeva l'allargamento del Corso Vittorio Emanuele, il completamento dell'isolato del Real Liceo e la realizzazione di un nuovo isolato, ottenuto mediante l'apertura di una nuova strada (l'attuale via Sallustio).

Dal punto di vista figurativo, il nuovo porticato, allineato a quello del Liceo, ne riprendeva le stesse caratteristiche formali e dimensionali.

Dal punto di vista operativo, invece, il piano suddivideva l'area d'intervento in due distinti comparti, uno che dal Liceo andava fino alla nuova strada e il secondo che proseguiva fino a via Tre Marie.

Quest'ultimo comparto sarà occupato dalla sede della Cassa di Risparmio della Provincia dell'Aquila, progettata dall'ing. romano Giulio De Angelis, vincitore del concorso bandito dall'amministrazione comunale nello stesso anno del piano d'intervento. L'edificio, realizzato tra il 1886 e il 1890 con un'organizzazione planimetrica bipartita con accessi indipendenti sui due fronti corti, presenta un ritmo del portico più calmo rispetto al progetto presentato al primo grado di concorso, sul quale, al di sopra della trabeazione, poggia un massivo fronte ad intonaco fugato.

La realizzazione del secondo comparto d'intervento pose maggiori difficoltà, dovute al riproporsi del contrasto con il clero, così come era successo per la costruzione del Real Liceo, riguardo la presenza sull'area d'intervento di un'importante testimonianza storica, rappresentata, in questo caso, dalla settecentesca chiesa della Concezione. A risolvere lo scontro tra le due opposte correnti, quella clericale e conservatrice da un lato e quella progressista dall'altro, sarà l'intervento dell'arch. Luigi Filippi, nipote del vescovo (1888). Questo, dopo

aver evidenziato l'impossibilità di una conservazione anche parziale della chiesa a pianta ovale, propone una nuova chiesa a croce greca coperta con cupola, che, arretrata rispetto al fronte, permettesse il completamento dei portici pur lasciando una testimonianza religiosa all'interno del nuovo comparto, esito della spinta progressista e innovativa del tempo.

Sul finire del secolo, terminati i lavori di ricostruzione della chiesa della Concezione e di sistemazione della facciata del collegio-Convitto nazionale sulla nuova via Sallustio, si conclude l'opera di trasformazione del grande isolato storico, ormai diviso in due, lasciando irrisolto il completamento figurativo del fronte prospiciente il Corso con la sopraelevazione del porticato.

Tale mancanza sarà colmata solo nel 1929 dopo lunghe e variegate vicissitudini (incertezza sull'attuazione dell'opera, sospensione di qualunque iniziativa a causa della Grande Guerra e del terremoto del 1915, difficoltà nel trovare soggetti privati che investissero nel progetto). La sopraelevazione verrà realizzata, su progetto dell'arch. Gioia e dell'ing. Lisio ma con un chiaro rimando al progetto redatto dall'arch. Mancini nel 1906, in completa continuità figurativa con il preesistente edificio ottocentesco, perseguendo una ostentata unità d'intervento piuttosto anacronistica per il 1929.

L'ultima operazione per il completamento del percorso porticato che collegava piazza Palazzo e piazza Duomo, riguarda la demolizione e ricostruzione del Palazzo Gigotti posto all'angolo tra il Corso e piazza Duomo (1931-1932).

Il progetto dell'edificio viene redatto dall'Ufficio tecnico comunale sulla base di indicazioni fornite dalla Commissione giudicatrice dell'apposito concorso, che non aveva decretato vincitori.



Fig. 2. La riconfigurazione dei Quattro Cantoni: modello 3D del Palazzo dell'INA e del Banco di Napoli.

Vengono riproposti i ritmi, la geometria e le proporzioni che caratterizzano il porticato e, più in generale, l'intero fronte dell'edificio adiacente, semplificando, però, il disegno della facciata ed enfatizzando l'angolo attraverso l'utilizzo di paraste e balconate³.

La sistemazione dei Quattro Cantoni all'angolo con via San Bernardino rappresenta l'ultimo atto di questo processo di trasformazione e rinnovamento che, da più di cinquanta anni, aveva interessato il cuore della città, costituito dall'intersezione degli assi storici, e il tratto che collegava tale luogo a piazza Duomo.

Il progetto generale di sistemazione dell'area dei Quattro Cantoni compresa tra via San Bernardino, il Corso, via Tommasi e via Fortebraccio fu redatto nel 1930, su incarico del Comune, dall'ingegnere aquilano Berardino Valentini ed adottato dalla Civica Amministrazione il 24 gennaio 1933 (secondo progetto di variante al Piano regolatore e di ampliamento, approvato con Regio Decreto del 26 ottobre 1933). Il fine di tale opera di sistemazione, voluta e diretta da Adelchi Serena anche dopo il suo trasferimento a Roma e l'abbandono della carica podestarile per rivestire incarichi politici di rilevanza nazionale (vicesegretario del partito dal 1933 al 1939, ministro dei Lavori Pubblici nel 1939-1940 e segretario del



Fig. 3. Palazzo dell'INA oggi e nelle foto d'epoca (Cavalieri 2010, pp. 65-66), prima della realizzazione del Palazzo per Uffici Pubblici e la prosecuzione del sistema porticato sino a piazza San Bernardino.

partito dal 1940 al 1941), era quello di accentuare la vocazione dell'area a centro direzionale della città, contribuendo al progetto di modernizzazione e monumentalizzazione dell'Aquila.

La demolizione degli isolati preesistenti consentiva l'allargamento delle sezioni stradali sia del Corso Vittorio Emanuele (portato da 10 m a 15 m) che di via San Bernardino (da 5.9 m a 8). Su quest'ultima, inoltre, si prevedeva l'allineamento dei nuovi edifici lungo la direzione imperniata nell'angolo del Real Liceo, che si conferma essere il cardine della trasformazione dell'intero Corso Vittorio Emanuele.

Per attuare il progetto della Grande Aquila⁴ era necessario trovare partner che, investendo propri capitali, potessero contribuire all'opera di modernizzazione e rafforzamento del ruolo direzionale della città. In tale attività, decisivo fu il ruolo giocato da Adelchi Serena, il quale esercitò pressioni sulla Direzione dell'Istituto Nazionale delle Assicurazioni sin dal 1930, quando gli propose l'area del Palazzo Gigotti per la realizzazione di una propria sede a L'Aquila.

L'INA rifiutò tale iniziale offerta, per poi accettare la successiva (sempre con l'intermediazione di Serena), riguardante un'area di circa 1400 mq all'angolo dei Quattro Cantoni, tra il Corso Vittorio Emanuele e via San Bernardino.

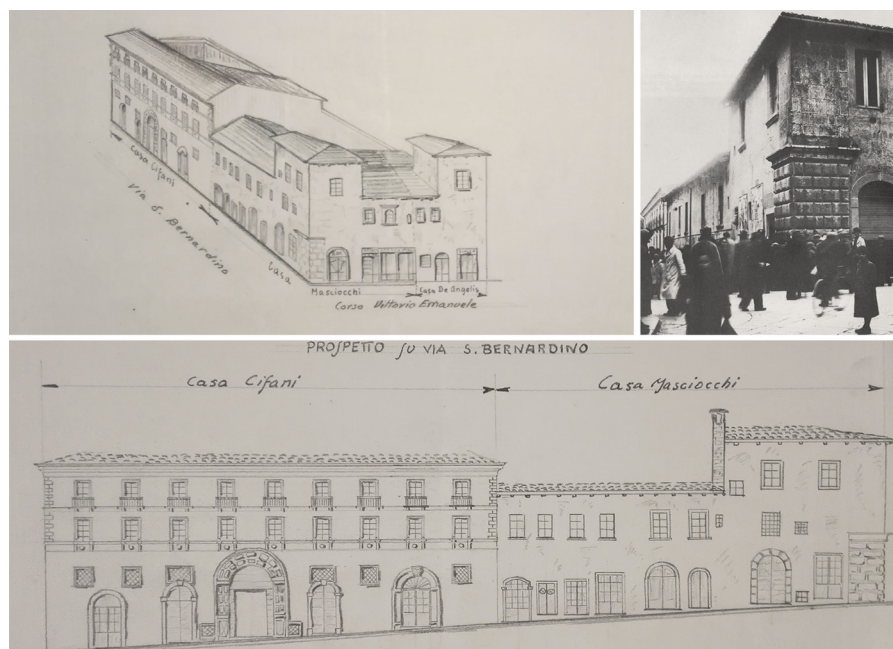


Fig. 4. L'angolo tra il Corso e via San Bernardino prima della realizzazione della sede dell'INA: foto storica e rilievo effettuato per la perizia di stima degli edifici da espropriare per pubblica utilità (Archivio Storico INA Assitalia, busta 12659).

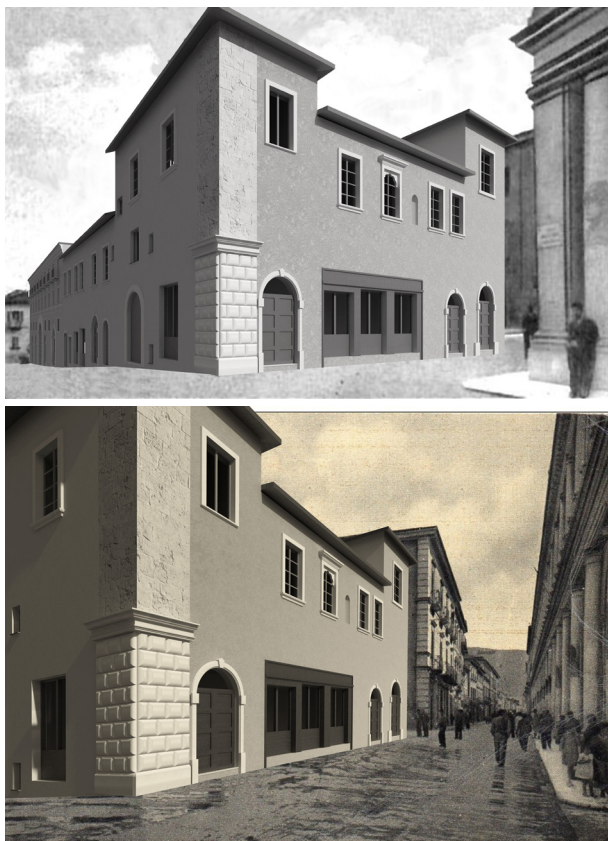


Fig. 5. Ricostruzione digitale dell'angolo dei Quattro Cantoni prima della realizzazione del palazzo dell'INA: fotoinserimento del modello 3D di casa Masciocchi su due fotografie dell'epoca.

Le trattative tra il Comune dell'Aquila e l'Istituto Nazionale delle Assicurazioni si concretizzarono, il 16 marzo 1934, con la stipula del contratto nel quale si impegnavano: il Comune a cedere l'area ad un prezzo di favore; l'INA a realizzare, entro due anni dall'approvazione del progetto, un fabbricato porticato che rispettasse il progetto di massima redatto dall'ing. Valentini.

L'Istituto, nella delibera del Consiglio di Amministrazione del 4 aprile 1934, affidò a Vittorio Morpurgo la progettazione architettonica dell'edificio mentre, per il calcolo strutturale, fu incaricato l'ing. Luigi Caroli.

Direttore dei lavori venne nominato l'ing. Valentini che, oltre alla redazione del piano generale di sistemazione dell'intera area, si era incaricato anche di effettuare le perizie di stima degli immobili da espropriare.

L'impresa aggiudicataria fu la Ettore Barattelli che concluse i lavori dopo quasi tre



Fig. 6. Ricostruzione virtuale di via San Bernardino prima della realizzazione dei portici dei Quattro Cantoni: casa Cifani (palazzo Dragonetti) e casa Masciocchi.

anni dalla loro consegna, avvenuta il 5 settembre 1935, dopo quasi il doppio dei 400 giorni prefissati (c'era stata una prima consegna il 3 luglio ma i lavori furono sospesi quasi subito).

L'opera di ammodernamento e risanamento del cuore pulsante dell'Aquila fu condotta a scapito dell'antico tessuto urbano residenziale.

In attuazione del Piano Regolatore e di ampliamento della città, infatti, l'Amministrazione comunale provvide ad espropriare per pubblica utilità e a demolire gli edifici siti nell'area oggetto dell'intervento, vale a dire Casa De Angelis, Casa Masciocchi e Casa Cifani.

Al loro posto sorse la nuova sede dell'INA, un moderno palazzo con struttura intelaiata in cemento armato, muri in mattoni pieni, tramezzature in forati e copertura in parte a terrazza e in parte a falde, comprendente al suo interno, oltre che uffici e negozi, anche un cinema.

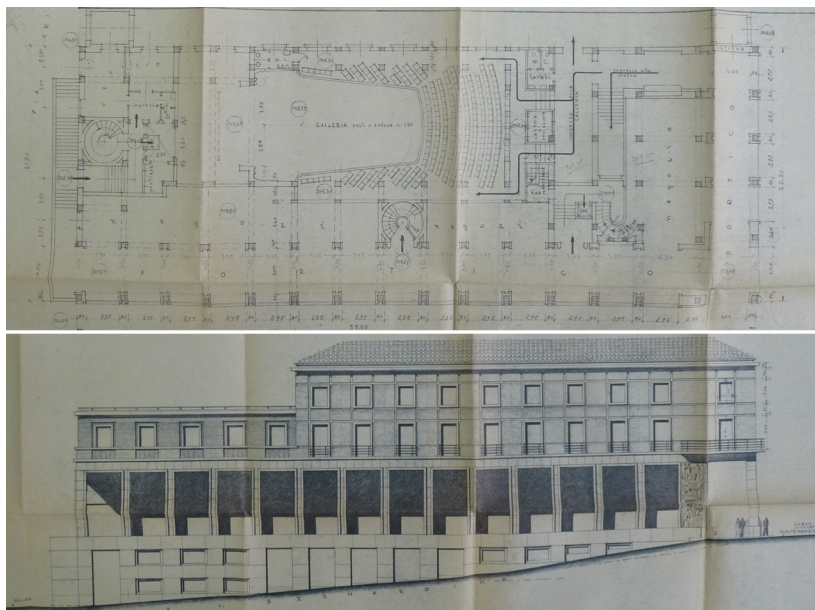


Fig. 7. Il Palazzo dell'INA con il sistema porticato sui due fronti principali (Archivio Storico INA Assitalia, busta 6013).

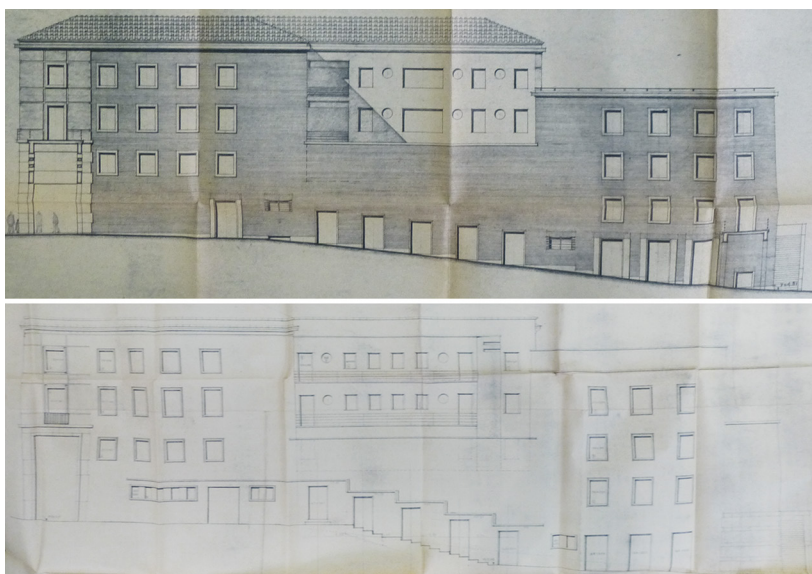


Fig. 8. I prospetti su via Tommasi e via San Crisante con laterizi faccia vista, nella soluzione progettuale del 1935, e con intonaco nella variante del 1936 (Archivio Storico INA Assitalia, Buste 6013 e 6008).

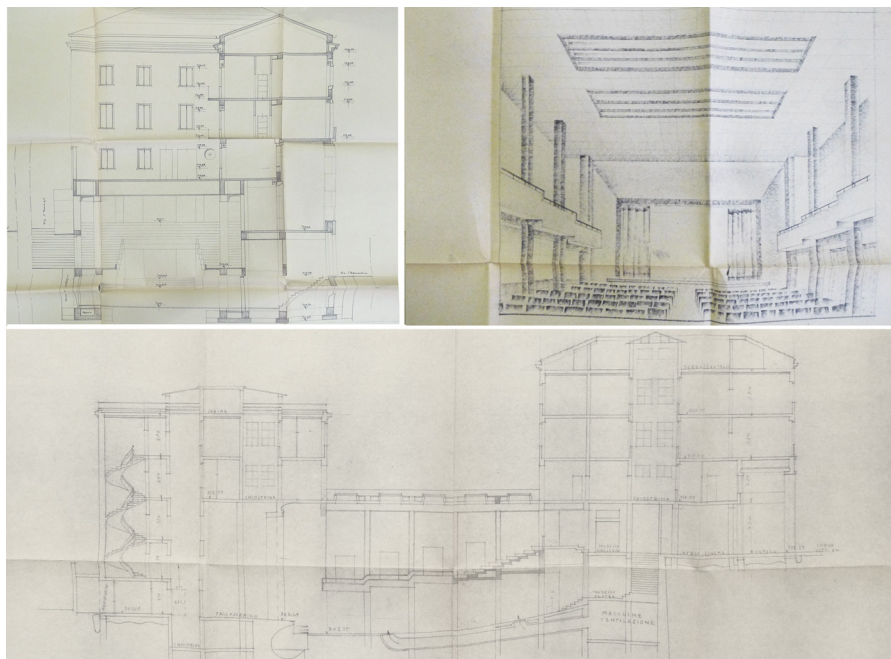


Fig. 9. Il cinema teatro nelle sezioni di progetto e in una vista prospettica (Archivio Storico INA Assitalia, buste 6004 e 6013).

Il Palazzo, così come era stato richiesto dall'Amministrazione comunale, si contraddistingueva per la presenza di portici sui due fronti principali, ossia sul Corso e su via San Bernardino. Su quest'ultima, in particolare, in forte pendenza, il portico rimane rialzato così da realizzare un percorso coperto che, dopo la realizzazione del Palazzo per Uffici Pubblici (1943-1950) e del cavalcavia sulla via Fortebraccio, di raccordo ai due edifici, arrivasse sino a piazza San Bernardino.

Il progetto di Morpurgo venne approvato dalla Commissione Edilizia e di Ornato il 10 agosto 1934, con l'indicazione di portare la luce dei pilastri del porticato dai previsti 2.9 m ad almeno 4 m, così da conformarsi agli altri portici della città. L'approvazione del Genio Civile, invece, venne concessa il 16 gennaio 1935, con il suggerimento, data l'importanza dell'edificio e la richiesta di deroga alle norme anti-sismiche vigenti relative all'altezza dei fabbricati, di sottoporre il progetto anche al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Quest'ultimo espresse parere favorevole, tuttavia, chiese di reintrodurre il collegamento trasversale dei pilastri, nel progetto demandato, per ragioni architettoniche, ai soli travetti dei solai.

Sotto il profilo architettonico, i fronti sul Corso e via San Bernardino presentano una parte basamentale costituita dall'alto portico con pilastri architravati, rivestiti in lastre di travertino, e una parte superiore a finitura in intonaco, con strette



Fig. 10 Vista renderizzata del modello dell'angolo dei Quattro Cantoni.

fasce orizzontali e verticali che ne scandiscono il ritmo.

La linearità della composizione delle due facciate, segnati da semplici bucatore, balconi in basso e finestre in alto, è marcata dalla balconata d'angolo che continua sui due lati. I prospetti secondari, anch'essi intonacati, inizialmente dovevano esser lasciati con i mattoni faccia vista.

L'edificio, espressione di quel classicismo semplificato di stampo piacentiniano, non riuscirà a suscitare l'entusiasmo della popolazione aquilana che, già prima della realizzazione del fabbricato, aveva manifestato perplessità e dubbi in merito al progetto di Morpurgo, invocando l'intervento di autori come Bazzani, Del Debbio o Piacentini stesso.

Probabilmente, il rapporto diretto con i vicini portici del regio Liceo-Convitto-Biblioteca (l'isolato venne completato solo qualche anno prima della costruzione della sede dell'INA), di tutt'altro linguaggio architettonico, non deve aver giovato alla comprensione e all'accettazione della disadorna e moderna monumentalità del Palazzo dell'INA, primo esempio di architettura dai caratteri espressamente moderni nel cuore della città dell'Aquila.

La realizzazione del Palazzo degli Uffici Governativi, nel rispetto delle disposizioni del Comune dell'Aquila, si pone in continuità col Palazzo dell'Istituto Nazionale delle Assicurazioni, al quale si collega tramite un cavalcavia che sorpassa via Fortebraccio e raccorda i portici dei due edifici.

Progettato nel 1940 da Bernardino Valentini, autore della sistemazione urbanistica dell'intera area, l'edificio venne realizzato tra il 1943 e il 1950.

La prima soluzione di progetto (1939) prevedeva la costruzione di due distinti edifici: uno destinato ad uffici vari (tra cui quelli del Genio civile), con un impianto planimetrico asimmetrico a C; l'altro, pensato per gli Uffici del Ministero delle Finanze, caratterizzato dalla presenza di due bracci rettilinei ortogonali e,



Fig. 11 Sede dell'ex Genio Civile: screenshot del modello BIM all'interno del software Autodesk Revit.

a circa metà lunghezza del corpo su via S. Bernardino, di un ulteriore fabbricato ortogonale, più basso.

La sistemazione in pianta era stata curata dall'ufficio tecnico del Genio Civile, mentre l'elaborazione dei prospetti e dei dettagli architettonici venne affidata a Valentini dal Ministero dei LL. PP. Direzione Generale dell'Edilizia.

Valentini avanzò due proposte, entrambe fondate su un'organizzazione dei prospetti in due ordini principali: la parte basamentale rivestita con pietra da taglio, ed i livelli superiori caratterizzati da mattoni faccia vista oppure semplicemente intonacati⁵. La configurazione realizzata, invece, è l'esito di un nuovo progetto, interamente opera di Valentini (1940), volto ad accogliere le mutate richieste della committenza, decisa a costruire un solo nuovo edificio, che ospitasse sia gli Uffici del Genio Civile che dell'Azienda Autonoma Statale e della Milizia Nazionale della Strada⁶.

L'impianto planimetrico ad L, con i due bracci paralleli a via S. Bernardino e alla piazza della Basilica e al cui incrocio si colloca il vano scala, si contraddistingue per gli angoli rivolti verso l'interno arrotondati. L'ingresso principale all'edificio è segnato dall'allargamento del portico che, arrivando su piazza S Bernardino, diviene a pianta quadrata.

I prospetti, così come quelli dell'edificio di Morpurgo, si caratterizzano per il basamento rivestito in lastre di pietra e la parte superiore intonacata, mostrando un linguaggio molto simile a quello della soluzione alternativa del primo progetto. Il cavalcavia di raccordo tra il Palazzo dell'INA e quello del Genio Civile, già previsto negli anni '30, invece, venne realizzato solo negli anni '60, su progetto dello stesso Valentini⁷.

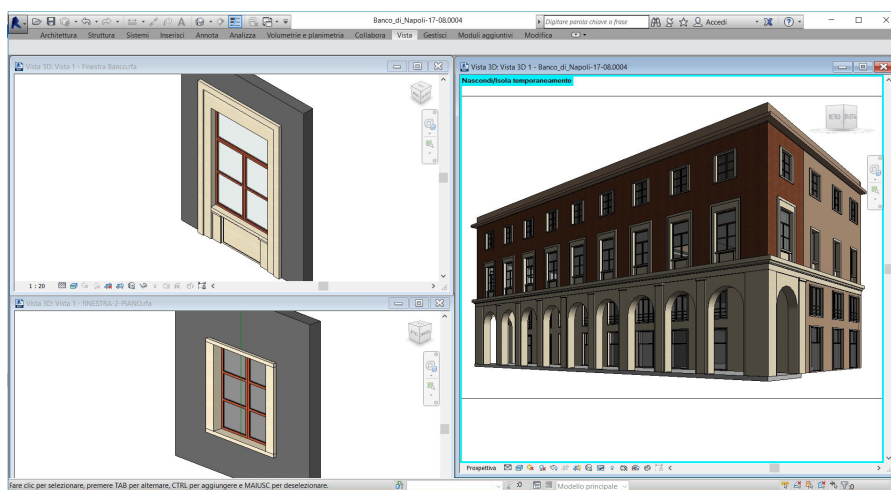


Fig. 12. Banco di Napoli: screenshot del modello BIM dell'edificio e di due delle famiglie create appositamente.

La realizzazione del Banco di Napoli completa l'opera di sistemazione dei Quattro Cantoni, volta ad accentuarne la vocazione a centro direzionale della città. Negli anni '30, la sede occupata dal Banco di Napoli dal 1907⁸ Palazzo Marinangeli ex Pica, all'angolo tra Corso Vittorio Emanuele e via Simonetto, non era più sufficiente a soddisfare le necessità dell'istituto bancario.

Un'occasione di ampliamento venne offerta al Banco di Napoli da Adelchi Serena, nel 1937. Il gerarca, alla ricerca di partner per la realizzazione del progetto di sistemazione dell'area, propose al direttore del Banco di Napoli la possibilità di acquisire l'edificio attiguo a palazzo Marinangeli, di proprietà dell'INFAIL - Cassa nazionale di Assicurazione degli Infortuni sul Lavoro⁹.

Nonostante la proposta superasse le reali esigenze della succursale aquilana, l'offerta di tale sito per la costruzione di un nuovo edificio, in prosecuzione del Palazzo dell'INA, presentava dei vantaggi evidenti, tra cui le possibilità di non perdere il prestigio di una posizione tanto centrale e di continuare i propri affari anche durante la fase di cantiere.

A lavori completati, sarebbe stato demolito e ricostruito anche palazzo Marinangeli, così da proseguire il porticato sino a via Simonetto.

L'istituto bancario, tuttavia, una volta acquistata l'ex sede INFAIL, in considerazione delle notevoli spese, non pareva più intenzionata a demolire e ricostruire anche palazzo Marinangeli, provocando degli scontri con l'Amministrazione comunale, per la quale, condizione imprescindibile era la realizzazione di un unico edificio porticato che ricucisse, lungo il corso, i due isolati.

Dopo una lunga trattativa, nel 1938, si arrivò ad un accordo: in cambio della cessione della porzione di proprietà di palazzo Marinangeli necessaria all'al-

largamento del Corso e alla realizzazione dei portici, all'istituto verrà concesso gratuitamente il tratto di via Pica che separa palazzo Marinangeli da quello dell'INFAIL, così da realizzare (in due distinti momenti, per andare incontro alle necessità del Banco di non cessare le attività) un'unica grande sede con portici prospicienti il Corso.

Il progetto, redatto da Emilio Tomassi, ottenne parere favorevole da parte della Commissione Edilizia, nel 1940, con la prescrizione che l'edificio venga realizzato in prosecuzione del palazzo dell'INA, in conformità con la planimetria redatta dall'Ufficio Tecnico Comunale ¹⁰.

La Commissione Edilizia, l'anno prima (28 aprile 1939), aveva espresso delle riserve riguardo al progetto e, in particolare stabiliva che: la larghezza maggiore (di 1.2 m) del porticato rispetto a quello del palazzo adiacente dell'INA richiedeva una particolare attenzione affinché non si notasse la discontinuità; nel prospetto sul Corso Vittorio Emanuele, serviva un maggior studio dei rapporti proporzionali tra i portici e i piani superiori e, per quanto riguardava le paraste, si suggeriva di abolirle; il rivestimento in litoceramica non veniva ritenuto adatto al contesto; le finestre del piano terra dovevano essere allineate per evitare la dissimmetria delle aperture sotto il porticato; le due gradinate sul portico dovevano essere abolite, così come l'ufficio del vice-direttore della banca affinché si avessero tutti negozi; era necessario introdurre il ricovero anti-aereo, obbligatorio per la legge del 1937¹¹.

Il giorno dopo, il Podestà dell'Aquila scrisse al direttore del Banco di Napoli per comunicargli il parere della Commissione Edilizia; nella lettera si fa cenno anche al suggerimento della Commissione di realizzare le "strutture architettoniche", come i cornicioni, in pietra naturale anziché artificiale.

Nella lettera del 22 maggio 1939, in cui Adelchi Serena rispondeva al Podestà, nel commentare quanto gli veniva riferito, il gerarca si diceva d'accordo con alcune osservazioni della Commissione ma non su quella inerente al rivestimento. Benché consigliasse di non opporsi agli uffici tecnici, infatti, Serena non ne condivideva il parere: la litoceramica sarebbe stata più elegante, oltre che più costosa, e il fatto che non ci fossero altri casi di utilizzo simile era dovuta alla novità del materiale. La riflessione di Serena sul "perché rimanere incatenati al passato", mette in luce, anche nel contesto aquilano, quella posizione prettamente italiana fatta di contraddizioni e ambiguità sui nuovi materiali: la loro diffusione oscillava tra la volontà di trasmettere l'immagine di un'industria nazionale fiorente e l'istanza di contenere l'innovazione in un ambito che continuasse a permettere un cantiere artigianale, garantendo la continuità col passato¹². L'edificio del Banco di Napoli si compone di due differenti unità, realizzate a distanza di dieci anni l'una dall'altra: la prima (1940-43), comprendente l'ex sede, si attesta tra il Corso Vittorio Emanuele, via Salvatore Tomassi e via Pica; la seconda, completata nel 1953 (c'era stata, nel frattempo, una lunga pausa dovuta alla guerra), si pone in prosecuzione della precedente, tra il Corso e via Simonetto.



Fig. 13. Vista del Banco di Napoli, con i portici in continuità con quelli del palazzo dell'INA.

L'unità iniziale, a sua volta, si articola in due parti distinte.

La prima affaccia sul Corso ed è composta da 4 elevazioni fuori terra organizzate attorno all'atrio centrale, mentre la seconda, di un piano più bassa, dà sul retro del complesso. La struttura è in muratura portante in mattoni pieni con pilastri in cemento armato per i portici e per l'atrio centrale.

Il grande atrio centrale a doppia altezza è circondato da pilastri in cemento armato rivestiti in marmo. Esso presenta una duplice copertura: una piana all'altezza del secondo solaio, realizzata in profili metallici longitudinali e trasversali di supporto alle lastre vetrate, e una piramidale in sommità, sempre in acciaio e vetro.

La seconda unità (1951-1953), anch'essa di quattro piani, si differenzia dalla prima per il sistema costruttivo, costituito da un telaio centrale in cemento armato, murature perimetrali in mattoni pieni con l'inserimento di pilastri in cemento armato in breccia nella muratura stessa.

L'affaccio sul Corso è caratterizzato dalla presenza del porticato allineato a quello del Palazzo dell'INA, il quale è costituito da una struttura in cemento armato rivestita in travertino e decorata da finte arcate.

Le due differenti unità, seppur costruite in periodi diversi, sono connesse sia funzionalmente (alcuni spazi si sviluppano su entrambe) che strutturalmente, poiché lo scheletro in cemento armato della nuova struttura fu collegato alle murature della precedente.

Per la documentazione e comunicazione di tale patrimonio architettonico moderno, si è deciso di ricorrere all'utilizzo di una piattaforma BIM – nello specifico, Autodesk Revit 2016 -, così da ricomprendere all'interno di un unico sistema l'intero corpus informativo disponibile.

In particolare, la disponibilità di un'ampia documentazione sul caso di studio, che ha consentito di avere informazioni anche su aspetti non direttamente rilevabili, se non al costo di saggi anche distruttivi – come nel caso dei dettagli costruttivi - rende i sistemi informativi BIM di particolare interesse.

Trattandosi di architetture realizzate, il primo riferimento dello studio è l'edificio nella sua consistenza fisica e materica, documentata attraverso il rilievo.

A ciò si è unita l'analisi archivistico-documentale, volta a studiare e ricostruire le vicende storiche che hanno portato alla sostituzione edilizia di un'importante porzione di tessuto urbano storico, e le caratteristiche architettoniche, tecniche e costruttive degli edifici, riportate nei disegni di progetto.

Sulla base di tale fondamento informativo, si è proceduto alla modellazione BIM dei portici dei Quattro Cantoni, articolata in tre differenti file di progetto – uno per il Palazzo dell'INA, uno per l'ex Genio Civile ed uno per il Banco di Napoli-, ricollegati tra loro, poi, all'interno di un unico file.

Tale scelta è stata motivata dalla volontà di non dover lavorare con un file unico, altrimenti eccessivamente pesante e, quindi, difficile da gestire, pur mantenendo collegati tra loro i tre edifici che, seppure frutto di vicende progettuali e realizzative diverse, fanno parte dello stesso disegno di ammodernamento e monumentalizzazione di quella porzione di centro storico.

I componenti architettonici sono stati realizzati attraverso operazioni di editing delle famiglie di sistema (creazione di "tipi" specifici di muri, solai, coperture, etc.) e di quelle caricabili (creazione di famiglie personalizzate di porte, finestre, etc.). Nel caso di elementi specifici ed unici, come ad esempio i cornicioni, si è ricorso all'impiego di modelli locali.

L'apparecchiatura costruttiva costituisce un aspetto non eludibile per la conoscenza e rappresentazione degli edifici storici.

In tale ambito, la modellazione ad oggetti propria del BIM, contraddistinta da un approccio semantico basato sul sistema costruttivo, ha offerto interessanti potenzialità.

La creazione di famiglie e tipi ad hoc, facilitata dal linguaggio moderno del caso studio, ha portato alla realizzazione di oggetti digitali rappresentanti, nel modello virtuale, l'elemento reale in tutti gli aspetti di cui si compone, tra cui l'apparecchiatura costruttiva.

Inoltre, la possibilità di gestire le differenti fasi del progetto (stato di fatto, stato di progetto e demolizione) offerta dagli ambienti BIM, è risultata vantaggiosa per la rappresentazione delle fasi storiche che hanno interessato l'area.

Lo stato dei luoghi precedenti all'intervento di sostituzione edilizia che ha coinvolto i Quattro Cantoni, è stato ricostruito sulla base dell'analisi della documentazione archivistica e fotografica.

Tale ricostruzione è stata inserita direttamente all'interno del modello BIM, come fase precedente allo stato attuale. Attraverso i filtri delle fasi, è possibile visualizzare, separatamente, le configurazioni dell'area ante e post-intervento di sostituzione edilizia, oppure la sovrapposizione di entrambe le fasi.

Infine, la modellazione BIM ha consentito l'inserimento dei principali documenti che hanno sostanziato la ricostruzione digitale degli edifici e delle fasi storiche precedenti (disegni di progetto, rilievi dello stato dei luoghi prima delle demolizioni, foto storiche, etc.), all'interno di un'unica piattaforma digitale, collegata alla rappresentazione tridimensionale.

Sebbene non sia stato possibile inserire il vasto apparato documentale disponibile per intero, il collegamento delle fonti più significative ha consentito di documentare il processo di conoscenza e di interpretazione del bene architettonico, favorendo la trasparenza della rappresentazioni digitale.

Infine, l'accesso e la fruizione di tale sistema informativo in sito, consentito, anche se solo parzialmente, dall'utilizzo di piattaforme web o applicazioni di realtà virtuale, può facilitare la conoscenza e la comunicazione dei valori storico-architettonici dei portici dei Quattro Cantoni¹³.

5.3. Architettura trasformata: piazza San Basilio

La porzione di centro storico attorno a piazza San Basilio ha subito importanti trasformazioni nel corso del tempo, con la modifica totale della sua configurazione spaziale e delle sue funzioni.

Sino al XX sec., l'area era una zona di orti urbani, caratterizzata dalla presenza dei monasteri di San Basilio e di Santa Agnese, che andavano a formare un ampio slargo. Il sito era collegato al centro storico attraverso due percorsi provenienti, uno, da via Cascina, asse fondativo della città, l'altro, da via Paganica.

Il terremoto che colpì la città dell'Aquila, nel 1703, portò ad un rinnovamento della configurazione architettonica dei due monasteri, mentre la piccola chiesa di locale di San Pietro e Nicolò della Genca venne demolita (nel 1858, non era più esistente).

Nel Novecento, le aree verdi interne alle mura vennero interessate da fenomeni di ampliamento del tessuto edificato, in seguito anche all'apertura, nel 1933, di via Duca degli Abruzzi.

La realizzazione del nuovo viale è riconducibile ad una volontà di ampliamento e rinnovamento del tessuto urbano, concretizzatosi attraverso la costruzione dell'ospedale San Salvatore e di alcuni edifici scolastici.

Nel 1931-1934, l'ospedale venne ampliato con la rifusione della chiesa di Santa Agnese e la demolizione dell'annesso monastero e della contigua chiesa di Santa Maria del Guasto (sec. XV), la cui facciata venne rimontata, nel 1935, per la chiesa di Santa Maria degli Angeli fuori porta Napoli.



Fig. 14. Confronto tra una foto storica dell'area del San Basilio nei primi del '900, e la stessa area oggi, in un'immagine di Google Maps.

Vennero, inoltre, costruiti il Dispensario Antitubercolare (1935) e il Dispensario di Igiene (1939)¹⁴, suddividendo in due lo slargo prima racchiuso tra i due monasteri.

L'apertura del viale Duca degli Abruzzi, caratterizzato da una propria livelletta, porta, di fatto, alla chiusura delle strade secondarie, modificando radicalmente la percezione dell'intera area: se prima, infatti, il complesso architettonico era accessibile e, quindi, visibile da via Cascina e da via Paganica, ora è possibile osservare l'ospedale da viale Nizza, e il corpo settecentesco del San Basilio dalla piazza Natali¹⁵.

Attraverso l'uso di modelli digitali, lo studio è stato finalizzato alla realizzazione di sezioni storiche diacroniche 3D, con l'obiettivo di comprendere i valori di brani della città, sulla base delle ricostruzioni dei processi di modificazione e trasformazione che li hanno interessati.

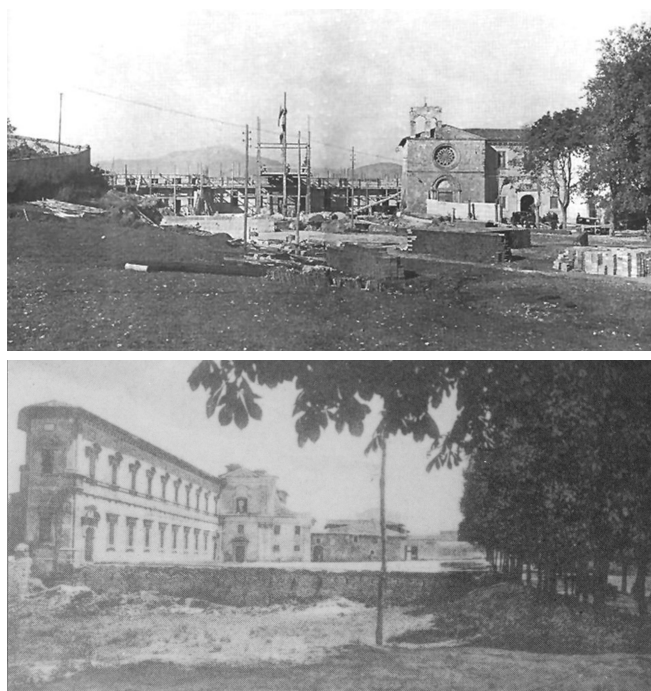


Fig. 15. Immagine storiche dell'area durante il periodo fascista: realizzazione dell'ospedale S. Salvatore (1931-1934) e del Dispensario di Igiene (1939).

I modelli digitali, infatti, hanno favorito letture spaziali oggi non più esperibili e, quindi, la comprensione dei valori storici ed architettonici: il percorso storico di accesso al sito lungo l'asse storico di via Cascina (secc. XVI-XVIII-XIX); la visualizzazione di edifici non più esistenti o modificati, come la chiesa di Santa Maria del Guasto, la configurazione dell'ospedale nella prima collocazione presso il monastero di Santa Agnese (sec. XIX), la prima facciata del nuovo ospedale e le sistemazioni esterne (sec. XX), lo slargo tra i monasteri (secc. XVI-XVIII-XIX), poi ridotto con la costruzione del Dispensario di Igiene che, tra l'altro, rende non più visibile il fronte corto del convento di San Basilio.

Tali modelli interpretativi 3D, intesi nella loro funzione euristica di strumenti di elaborazione dei dati, validazione delle ipotesi di studio, comprensione e comunicazione degli spazi urbani e delle architetture, trovano nel rilievo architettonico e nell'analisi della documentazione storica il loro fondamento scientifico. La campagna di rilevamento della zona dell'ex-Ospedale di San Salvatore ha visto l'integrazione della scansione laser – utilizzata, in particolare, per il rilievo degli invasi urbani - con applicazioni di fotogrammetria digitale.



Fig. 16. Il rilievo dell'area del San Basilio: nuvola di punti del monastero di S. Basilio e del Dispensario di Igiene (1939); rilievo fotogrammetrico della facciata di S. Maria del Vasto che, dopo la demolizione della chiesa nel 1935 (per costruire il nuovo ospedale), venne rimontata nella chiesa di S. Maria degli Angeli fuori le mura cittadine.

Queste ultime sono state impiegate per il rilievo del fronte della chiesa di Santa Maria del Guasto la cui facciata, dopo la demolizione dell'edificio, venne rimontata, nel 1935, nella chiesa di Santa Maria degli Angeli fuori porta Napoli. Nella nuvola di punti così acquisita, sono stati individuati i profili che, utilizzati come direttrici e generatrici, hanno permesso la costruzione del modello matematico per superfici. In particolare, tenuto conto del livello di dettaglio desiderato, si è deciso di evitare l'utilizzo di mesh generate dalla nuvola di punti anche nel caso degli apparati decorativi. Ad esempio, il bassorilievo a motivo floreale dell'architrave della chiesa di Santa Maria del Guasto è stato modellato per estrusione del suo profilo, dedotto dall'ortofoto esportata dalla mesh renderizzata, sul quale, successivamente, è stata applicata una bump mapping.



Fig. 17. Ricostruzioni virtuali: vista dell'area del San Basilio provenendo dal percorso storico di via Cascina (XVI e XIX secc.).

Le foglie che rivestono i capitelli, invece, sono state realizzate attraverso una modellazione diretta tramite punti di controllo ricavati dalla points cloud.

Particolare cura è stata prestata alla visualizzazione dei modelli realizzati.

La scelta di opportune texture per rappresentare la consistenza materica sia degli edifici che dello spazio urbano, insieme alla contestualizzazione del modello, attraverso l'inserimento degli sfondi reali del paesaggio aquilano, hanno permesso l'elaborazione di rendering di sintesi fotorealistici, che potessero favorire l'interpretazione e la comunicazione dei valori urbani.

Fondata su metodo storico-critico, la ricostruzione virtuale delle trasformazioni che hanno interessato il paesaggio urbano ha coniugato il rilievo della configurazione attuale con la ricerca archivistica.

L'apparato documentario disponibile, differente anche in relazione alle diverse epoche, comprende carte storiche, fonti di carattere testuale e grafico, fotografie d'epoca.

La ricostruzione della fase storica relativa al XVII sec. è stata fondata su fonti



Fig. 18. Ricostruzione virtuale del monastero di San Basilio visto dal Sant'Agnese (XVI e XIX secc.). Oggigiorno, tale vista è impedita dal Dispensario di Igiene, costruito nel 1939.

documentali e su ipotesi interpretative derivanti dalla conoscenza diretta degli edifici.

Le configurazioni al '700 e all'800 sono state ricostruite, prevalentemente, sulla base delle carte redatte da Antonio Francesco Vandì, nel 1753, e da Vincenzo di Carlo, nel 1858¹⁶.

La sovrapposizione della cartografia storica al rilievo dello stato attuale, unita all'ausilio delle fonti documentarie e iconografiche, ha permesso la comprensione delle trasformazioni subite dall'area nei sec. XVIII-XIX.

Le modificazioni avvenute a cavallo tra 1800 e 1900, che hanno condotto l'area, in buona sostanza, alla sua configurazione odierna, sono testimoniate dall'ampia documentazione archivistica e pubblicistica. Ad esempio, fotografie storiche mostrano Santa Maria del Guasto prima della sua demolizione, oppure l'area adiacente al San Basilio.

Il processo critico-interpretativo ha posto questioni legate alla "trasparenza" delle informazioni¹⁷ e all'"affidabilità" delle ricostruzioni virtuali.



Fig. 19. Ricostruzioni virtuali delle configurazioni successive del monastero di Sant'Agnese e dell'ospedale San Salvatore (XVIII, XIX e XX secc.).



Fig. 20. Vista dell'area provenendo dal percorso storico di via Paganica (XVI e XIX secc.).

La necessità di esplicitare il legame tra modello e dati è stata risolta attraverso opportune visualizzazioni che, mediante il ricorso a toni di colore differenti, correlassero le ricostruzioni virtuali al tipo di fonte da cui sono sostanziate. Tali ricostruzioni tridimensionali di fasi storiche precedenti si offrono quali importanti strumenti per comunicare i valori di architetture e spazi urbani. In tale ambito, un ruolo centrale può essere rivestito dalle applicazioni di realtà aumentata che, sovrapponendo informazioni visuali o testuali al paesaggio urbano circostante, facilitano la comprensione della città storica nel susseguirsi delle sue trasformazioni.

5.4. Architettura non terminata: La chiesa di Santa Margherita

La Chiesa di Santa Margherita appartiene al Collegio del Gesù a L'Aquila, la cui vicenda architettonica prende avvio sul finire del XVI sec. (9 ottobre 1592) con l'assegnazione all'ordine gesuitico del Palazzo della Camera e degli edifici adiacenti, posizionati nel cuore del tessuto urbano, sede delle istituzioni cittadine¹⁸. Il primo progetto, databile al 1610, evidenzia quella che era una delle principali esigenze dei padri gesuitici: la costruzione di una nuova chiesa, che potesse sostituire la piccola e distante chiesa di Santa Margherita della Forcella. La nuova chiesa, prospiciente via dell'Annunziata, era pensata ad aula unica con cappelle laterali e copertura piana lignea. Sul transetto sporgente insistevano la cappella presbiteriale e due cappelle laterali.

Al primo progetto, fortemente vincolato alla ridotta disponibilità di terreno del momento, ne segue un altro, nel 1625, ad opera di Agazio Stoia. Questo prevedeva il ridisegno dell'isola urbana, con l'inglobamento della strada che separava i due isolati tra piazza Santa Margherita e via dell'Annunziata, e la creazione di una nuova via lungo la facciata del Collegio. La nuova chiesa avrebbe avuto il fronte laterale prospiciente la piazza Santa Margherita, mentre la facciata principale sarebbe stata rivolta verso la nuova piazza creatasi sul lato sud del Palazzo Margherita D'Austria, sede del Magistrato.

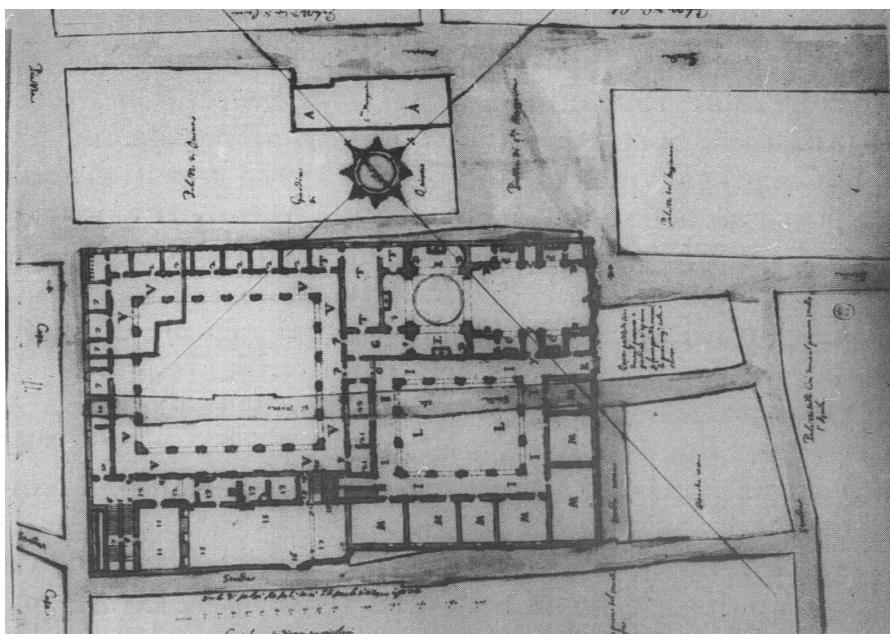


Fig. 21. Progetto di frate Agazio Stoia (1625), architetto della provincia napoletana dal 1623: sistemazione planimetrica dell'isola gesuitica (Bibliothèque Nationale de Paris, Hd-4,77).

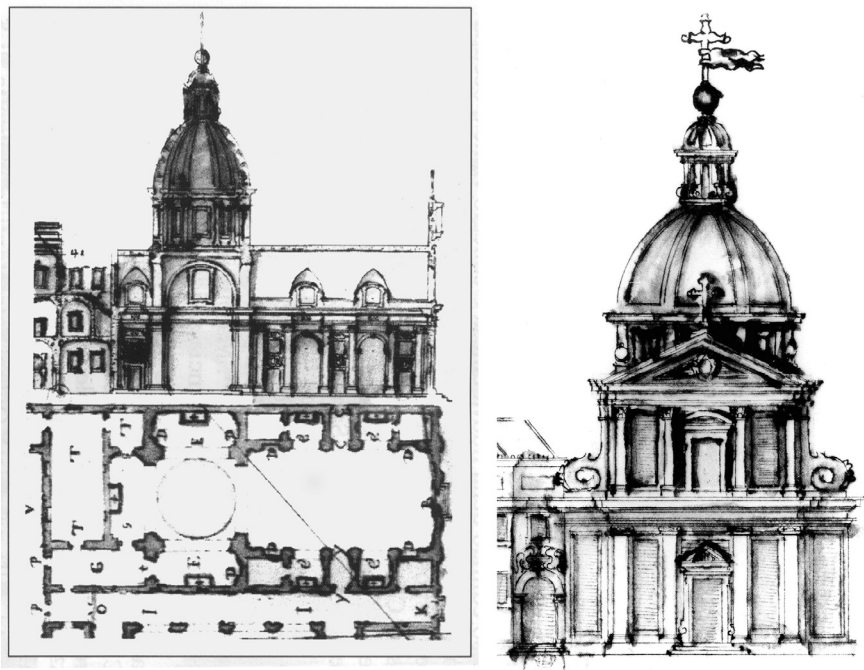


Fig. 22. Progetto di fratel Agazio Stoia (1625): pianta, prospetto e sezione della nuova chiesa di S. Margherita (Bibliothèque Nationale de Paris, Hd-4, 77).

La struttura distributiva è quella solita dei collegi della Compagnia, con una netta separazione delle funzioni tra la zona della scuola, l'area del collegio e il cortile. La chiesa seguiva una tipologia consolidata, già sperimentata nella chiesa di Chieti e, prima ancora, in quella di Castellammare: la pianta è racchiusa all'interno di un rettangolo comprendente anche il transetto non sporgente e la sacrestia, posizionata dietro l'abside piatto. L'impianto planimetrico risulta caratterizzato da una suddivisione in due distinte parti: l'aula, coperta da una volta a botte con cappelle laterali intervallate a confessionali, scandita dalla presenza della travata ritmica e di un asse di simmetria trasversale che segna gli ingressi laterali (dall'esterno e dalle scuole); il transetto con la cupola e l'abside.

Dal punto di vista tipologico, la chiesa è riconducibile al Gesù di Roma del Vignola che, caratterizzato dall'aula coperta a botte e travata ritmica, transetto con cupola e cappelle laterali, costituisce un riferimento essenziale per l'architettura gesuitica.

La facciata della chiesa è pensata in accordo allo schema romano su due ordini, con la particolarità della mancanza dei pilastri d'angolo al primo ordine, da cui deriva un addensamento compositivo verso il centro della facciata.

Nonostante la presenza di un progetto strategico, tuttavia, l'ordine non rinuncia



Fig. 23. Rilievo digitale della chiesa di Santa Margherita (L'Aquila): nuvola di punti della facciata e dell'aula.



Fig. 24. Modello restitutivo di rilievo della chiesa di S. Margherita e dell'adiacente palazzo Camponeschi, ex sede del collegio gesuitico a L'Aquila.

alla possibilità di acquistare altri terreni e, quindi, all'evenienza di modificare l'impianto generale del complesso architettonico.

È così che, nel 1630, Agazio Stoia redige un nuovo progetto, non pervenutoci, volto ad accogliere la volontà di inglobare i terreni retrostanti la chiesetta di Santa Margherita della Forcella.

L'isola dei gesuiti viene così estesa ad inglobare tutti e tre gli isolati compresi tra via Burri e via Andrea Bafile, mentre il fronte arretra sul filo di piazza S. Margherita. La chiesa, pur mantenendo l'orientamento previsto nel precedente progetto, viene spostata nella posizione attuale. Sulla base di tale impostazione progettuale, ormai definitiva, nel 1636 i gesuiti danno avvio alla realizzazione della chiesa, andando ad affiancare i lavori che da anni erano in corso per la costruzione del Collegio, iniziati già durante le fasi di modifica dell'impianto generale.

L'avanzare della costruzione della chiesa procede a fatica negli anni.

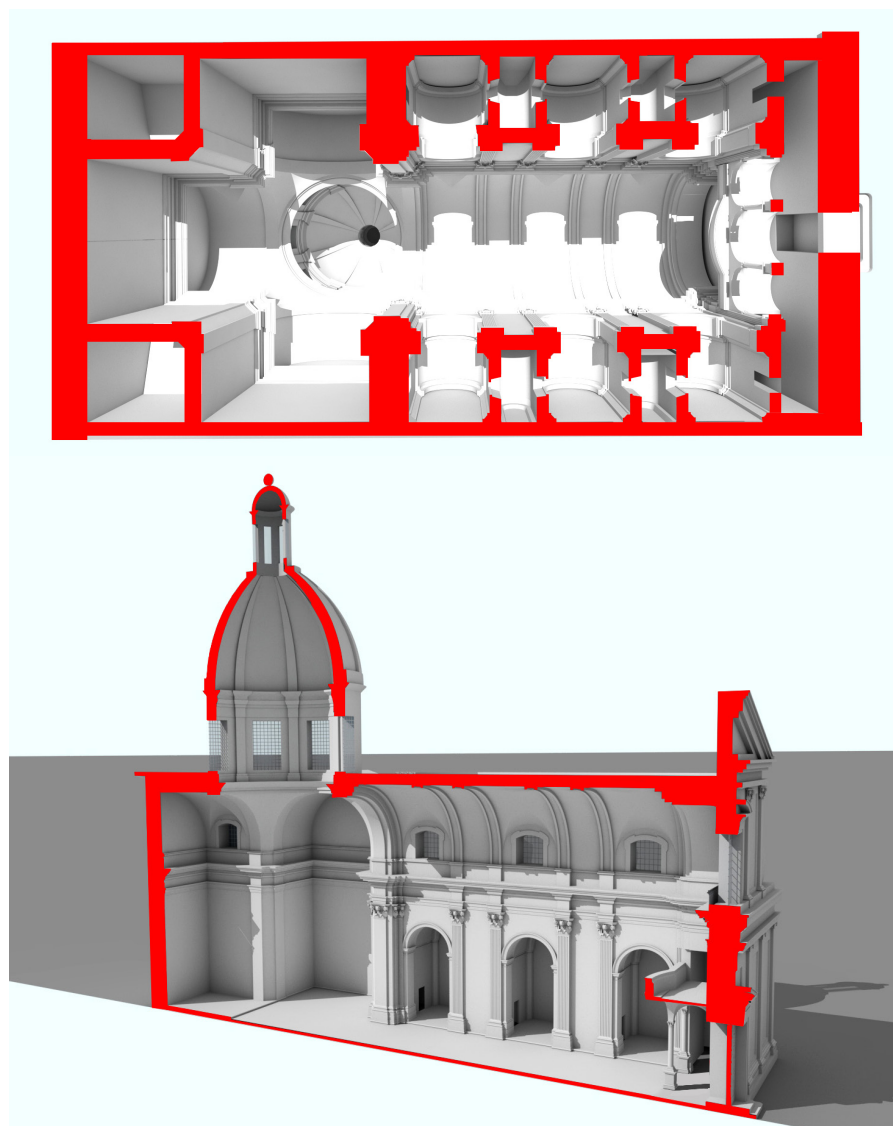


Fig. 25. Ricostruzione virtuale della chiesa di Santa Margherita mai terminata, sulla base dell'esistente e dei disegni di progetto: sezioni 3D.

Nel 1692, si rinuncia al completamento della chiesa con transetto, cupola ed abside, preferendo chiudere la navata centrale con un altare a muro. La già complessa vicenda realizzativa del Collegio viene ulteriormente aggravata

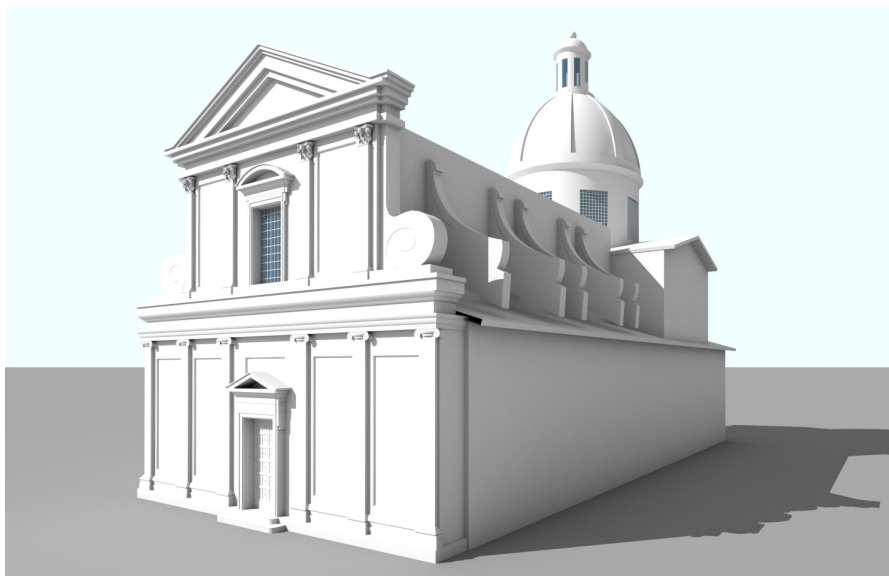


Fig. 26. Modello 3D dell'ipotesi di completamento della chiesa di Santa Margherita, basata sul rilievo dello stato attuale e sull'analisi dei documenti archivistici: vista dell'esterno.

dal devastante terremoto del 1703, che danneggia gravemente i nuovi fabbricati gesuitici compresa la chiesa, il cui restauro termina solo nel 1717. Ciononostante, i gesuiti non abbandonano l'idea del completamento del collegio e della nuova chiesa del Gesù, continuando ad operarsi a tal scopo.

Con l'espulsione della Compagnia dal Regno di Napoli nel 1767, tuttavia, il lungo iter della costruzione del Collegio aquilano volge al termine, lasciando incompiuti sia il collegio che la chiesa, rimasta priva di transetto, cupola e abside, e incompleta nella facciata.

Attraverso l'ausilio di modelli digitali, la sperimentazione ha riguardato la ricostruzione virtuale della chiesa incompiuta di Santa Margherita, partendo dall'analisi della sua configurazione odierna.

Lo studio ha preso dunque avvio dal rilievo del manufatto, eseguito tramite laser scanner ed integrato con applicazioni di fotogrammetria digitale.

L'analisi della documentazione storica ha fatto riferimento ai numerosi studi condotti sul manufatto¹⁹, che mostrano il disegno di progetto della pianta e della facciata della chiesa, oltre che dell'impianto planimetrico dell'intero complesso architettonico.

Sulla base della conoscenza del monumento nella sua configurazione odierna e dell'apparato documentale, è stata condotta l'analisi storico-critica, riscontrando, in particolare, come il progetto abbia subito delle modifiche in sede di realizzazione, oppure in seguito al progetto non pervenutoci del 1630.

La chiesa si differenzia da quella progettata da Agazio Stoia nel 1625, non solo perché incompiuta, ma anche per il numero di cappelle, tre per lato anziché due, intervallate da spazi ristretti, chiusi rispetto all'aula dai confessionali. Tali spazi avrebbero dovuto ospitare, al livello rialzato, dei "coretti" che, nel progetto del 1625, erano previsti al primo piano e solo sul lato verso il collegio; oggi, tali spazi sono segnati dalla presenza di affreschi incorniciati da stucchi.

Anche per la facciata si notano delle differenze rispetto al secondo progetto. In particolare, la parte basamentale del rivestimento lapideo, unica realizzata, mostra la presenza di paraste d'angolo che vanno ad alterare l'equilibrio compositivo pensato nel progetto del 1625.

Sulla base dei dati di rilievo si è dunque proceduto alla modellazione della chiesa nella sua configurazione attuale, riferimento imprescindibile di ogni ipotesi ricostruttiva. La nuvola di punti della chiesa è stata sezionata attraverso dei piani di taglio per ricavare le direttrici e le generatrici geometriche utilizzate, poi, per la creazione delle superfici architettoniche. Si è passati, così, dal modello discontinuo della chiesa ad un modello matematico continuo, frutto di un processo interpretativo della geometria architettonica.

Il modello dello stato attuale così generato è stato utilizzato come base per ricostruire virtualmente la soluzione progettuale mai portata a compimento, documentata nei disegni d'archivio. Sulla configurazione odierna della chiesa è stata quindi disegnata l'ipotesi ricostruttiva riguardante sia l'interno della chiesa, col transetto, cupola ed abside, che la facciata, il cui paramento lapideo era stato compiuto solamente nella parte basamentale.



Fig. 27. Modello 3D dell'ipotesi di completamento della chiesa di Santa Margherita: vista dell'interno.

VI. Conclusioni

La modellazione tridimensionale, nella sua funzione euristica di verifica e precisazione dell'idea iniziale, costituisce un fondamentale strumento di analisi del patrimonio architettonico: attraverso l'elaborazione visuale dei dati (Visual Computing) e la loro sintesi critica, la necessaria semplificazione della complessità architettonica, operata durante la modellazione, consente di mettere in luce gli aspetti più significativi dell'edificio, portando ad un approfondimento della conoscenza dell'oggetto di studio.

La scelta della tipologia di modello, quale riferimento dell'analisi sull'edificio storico, assume un ruolo essenziale, poiché solo una valutazione critica dei fattori che influenzano e determinano il processo di modellazione fa sì che la rappresentazione virtuale si configuri come fondamentale strumento conoscitivo del bene architettonico.

Il legame della modellazione del patrimonio con gli obiettivi, le caratteristiche dell'oggetto di studio e il livello di dettaglio della rappresentazione perseguito, si ripercuote inevitabilmente sulle scelte metodologiche da effettuare per lo studio dei beni architettonici, prima fra tutte la tipologia di modello da impiegare.

L'utilizzo di un tipo di modello piuttosto che un altro dipende strettamente dalle finalità della rappresentazione. Nel caso della documentazione del patrimonio costruito, la necessità di una conoscenza profonda, che comprenda tutti gli aspetti costitutivi del bene - da quelli geometrici a quelli storici, passando per quelli materici, tecnico-costruttivi e quelli relativi allo stato di conservazione -, richiede la gestione di un grande quantitativo di dati e informazioni, per il quale si rivela utile il ricorso a sistemi informativi collegati a rappresentazioni tridimensionali, come il BIM e il 3D GIS. In particolare, quest'ultimo offre interessanti possibilità nell'ambito dello studio dei beni archeologici: superate le scarse potenzialità delle piattaforme GIS nella modellazione 3D attraverso l'integrazione

con rappresentazioni di tipo mesh, il database permette l'archiviazione e la gestione dei dati e delle informazioni, favorendo lo studio e la conoscenza del sito archeologico attraverso la formulazione di query.

Per il patrimonio architettonico, invece, di particolare interesse sono i sistemi informativi BIM che, pensati appositamente per l'architettura, si fondano su una modellazione semantica ad oggetti, rappresentanti virtualmente i componenti costitutivi dell'edificio. Tali elementi, arricchiti da dati eterogenei, permettono l'organizzazione dei contenuti informativi relativi al manufatto architettonico (es. caso studio dei Quattro Cantoni).

Ad oggi, tuttavia, si registra l'insufficienza dei database BIM nella gestione dell'intero contenuto informativo necessario alla descrizione di un bene architettonico che, dato il differente approccio metodologico che lo contraddistingue, risulta essere estremamente più ampio ed eterogeneo.

L'accuratezza richiesta da un modello finalizzato alla conoscenza e documentazione di un edificio storico, impone un livello di dettaglio piuttosto elevato, che consenta il rispetto delle specificità e delle irregolarità geometriche dell'opera, registrate dalle odierne tecnologie di acquisizione massiva di dati (laser scanner e fotogrammetria).

Il BIM ripropone ed enfatizza l'aspetto critico relativo al rapporto tra modello e finalità - caratteristiche dell'opera - livello di dettaglio della rappresentazione, ponendo il problema di come modellare le articolate forme dell'architettura storica. Tale questione vede contrapposte, da una parte, la standardizzazione dei componenti edilizi, propria del BIM, e dall'altra, l'unicità del patrimonio architettonico.

ASPETTI DA CUI DIPENDE LA MODELLAZIONE 3D		MODELLO 3D
CARATTERISTICHE DEL BENE	FINALITÀ E LoD	
Architetture realizzate:		
patrimonio architettonico dalla complessità geometrica contenuta (es. arch. moderna)	documentazione - LoD elevato	BIM
edifici storici dalle forme architettoniche complesse	documentazione - LoD elevato	BIM+ NURBS
siti archeologici	documentazione - LoD elevato	GIS + MESH
	comunicazione: esplorazione virtuale	MODELLI NUMERICI (NUVOLE DI PUNTI E MESH)
Architetture trasformate:		
edifici e spazi urbani fortemente modificati nel corso dei secoli	ricostruzione fasi storiche	MODELLI CONTINUI
Architetture diseguate:		
edifici e spazi urbani mai realizzati	ricostruzione virtuale di architetture mai costruite	MODELLI CONTINUI

Fig. 1. La modellazione del patrimonio architettonico: legame tra caratteristiche dell'oggetto di studio, obiettivi, LoD e tipo di modello.

Nel framework generale relativo alla modellazione BIM degli edifici storici, occorrerà pertanto valutare criticamente gli obiettivi e le peculiarità del bene studiato, così da adottare un livello di dettaglio opportuno. Si sceglierà, dunque, tra ricondurre l'elemento architettonico ad oggetti standardizzati e tipizzati, oppure modellare ogni componente edilizio con le irregolarità e peculiarità che lo contraddistinguono. La prima strategia risulta particolarmente adatta nel caso del patrimonio architettonico moderno, per il quale, nonostante il ricorso a famiglie standardizzate, si riesce comunque ad ottenere un LoD elevato, con una buona accuratezza geometrica (Level of Accuracy – LoA). Nel caso, invece, di forme architettoniche più complesse, per le quali le operazioni booleane non risultano sufficienti – come, ad esempio, per i sistemi voltati particolarmente irregolari -, un livello di accuratezza elevato richiede l'integrazione della modellazione BIM con superfici NURBS (Non Uniform Rational Basis-Splines), che poi vengono importate in ambiente BIM ed arricchite da informazioni. Nonostante la possibilità di parametrizzare tali oggetti, va osservato che la specificità della loro forma, strettamente legata alle caratteristiche dell'oggetto storico in questione, difficilmente ne consente il riutilizzo; di conseguenza, la parametrizzazione di tali elementi viene limitata ai soli attributi necessari al caso di studio.

Nelle ricostruzioni digitali di edifici storici e spazi urbani non più esistenti, perché appartenenti ad una fase storica passata, oppure mai realizzati, i modelli continui si prestano particolarmente per analizzare ed esprimere i valori storici ed architettonici che caratterizzano l'oggetto di studio. Sulla base di un processo critico-interpretativo, fondato sul rilievo della conformazione attuale e sullo studio della documentazione archivistica, vengono ricostruite le direttrici e le generatrici delle geometrie architettoniche, andando a realizzare delle sezioni storiche diacroniche 3D – come nel caso dell'area del San Basilio - oppure delle visualizzazioni digitali di architetture solo disegnate, come, ad esempio, il completamento della chiesa di Santa Margherita con la cupola e la facciata.

Sia che si tratti della modellazione del patrimonio costruito oppure di architetture non più esistenti o mai realizzate, centrale è il concetto della trasparenza delle fonti (dati di rilievo, riferimenti documentali, etc.) e del grado di affidabilità del modello, metadato fondamentale per definire il quadro informativo fondante la ricostruzione virtuale. Trattandosi di modelli complessi, ossia caratterizzati non solo da informazioni spaziali ma anche collegati ad un eterogeneo sistema informativo, la reliability dovrà riguardare sia l'aspetto geometrico-dimensionale, valutato in termini di deviazione rispetto al dato di rilievo (Level of Accuracy), che i diversi contenuti informativi (Level of Quality): apparecchiatura costruttiva, fasi storiche, etc.

Nel caso della documentazione e comunicazione di beni architettonici in cui non è possibile riconoscere una matrice geometrica evidente, risulta particolarmente vantaggioso l'utilizzo della modellazione numerica. In presenza di superfici fortemente irregolari, come quelle caratterizzanti i siti archeologici - o quelle, scavate nella roccia, delle catacombe di San Vittorino -, le nuvole di punti o i

modelli mesh evitano le difficoltà o la scarsa rappresentatività di un modello di tipo matematico, esito di inevitabili approssimazioni, risultando particolarmente utili alla rappresentazione di tale specifica tipologia di bene architettonico.

In particolare, le nuvole di punti, integrate da applicazioni specifiche per la loro navigazione virtuale, offrono l'opportunità di visitare e fruire virtualmente beni architettonici normalmente non accessibili, andandosi a costituire come strumento per la comunicazione del patrimonio. In tal caso, la scelta di una risoluzione elevata, che consenta una densità di punti adeguata, abbinata ad immagini HDR per l'acquisizione dei valori RGB, diventa fondamentale per garantire una efficace esperienza di immersione nello spazio virtuale (es. scansione della chiesa di Santa Maria ad Cryptas per la relativa visita virtuale: risoluzione corrispondente ad una densità di punti di 3 mm a 10 m e immagini HDR con 5 esposizioni per foto, al fine di ottenere una buona resa delle superfici dipinte).

La navigazione dei modelli continui attraverso apposite applicazioni, invece, permette l'esplorazione virtuale di spazi architettonici non esistenti (andati persi o mai realizzati), oppure la sovrapposizione di contenuti informativi di vario genere sulla realtà circostante, mediante la Realtà Aumentata. La modellazione digitale, abbinata alle moderne Information and Communications Technology (ICT), assume, pertanto, un ruolo di primaria importanza nell'ambito della comunicazione e valorizzazione del patrimonio architettonico.

Una riflessione specifica è richiesta dal BIM, la cui navigazione in Realtà Virtuale richiede l'accesso anche all'eterogeneo sistema informativo correlato alla rappresentazione tridimensionale.

La possibilità di accedere alle informazioni contenute nel modello BIM in sito o da remoto, grazie alle attuali applicazioni di realtà virtuale e piattaforme cloud-based, incrementa sensibilmente le potenzialità offerte dal processo BIM per la comunicazione del patrimonio architettonico, ma anche per l'interoperabilità tra le diverse figure professionali coinvolte nella gestione del bene.

Ciononostante, a fronte degli importanti vantaggi offerti dalle attuali applicazioni di realtà virtuale e dalle piattaforme cloud-based nella condivisione di informazioni, va evidenziato come, ad oggi, non sia ancora possibile accedere ai contenuti del modello BIM nella loro interezza. Sono, infatti, escluse dalla visualizzazione in realtà virtuale, tramite Revit Live, tutte quelle informazioni aggiuntive, inserite all'interno di parametri creati appositamente per rispondere alle esigenze specifiche del patrimonio costruito; le piattaforme cloud-based (es. Autodesk A360), invece, non consentono la visualizzazione dei documenti e fotografie collegate alla rappresentazione tridimensionale.

In conclusione, le varie tipologie di modello presentano caratteristiche e potenzialità estremamente differenti tra loro, la cui valutazione critica risulta essere centrale per lo studio, la conoscenza e la valorizzazione del patrimonio architettonico attraverso la rappresentazione digitale.

L'analisi delle finalità della modellazione, delle caratteristiche del bene architettonico e del livello di dettaglio desiderato, effettuata alla luce delle specificità dei

diversi tipi di modello, consente infatti di scegliere consapevolmente l'approccio più idoneo alla documentazione e comunicazione dell'architettura storica. Qualunque sia il modello di riferimento, tuttavia, il fondamento dell'impostazione teorico-metodologica della modellazione degli edifici storici risiede nell'analisi storico-critica che, basata sul rilevamento e l'analisi documentale, costituisce il presupposto della scientificità della rappresentazione del patrimonio architettonico.

NOTE

I. INTRODUZIONE

1. FASOLO Vincenzo, *Analisi grafica dei valori architettonici*, 1955.
2. CENTOFANTI Mario, *Modellazione tridimensionale integrate nei sistemi informativi per l'architettura*, 2013.
3. COMMISSIONE FRANCESCHINI, *Per la salvezza dei beni culturali in Italia: Atti e documenti della Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio*, 1967.
4. UNESCO, *Charter on the Preservation of the Digital Heritage*, 2003.

II. IL RILEVAMENTO ARCHITETTONICO COME PROCESSO DI CONOSCENZA

1. DOCCI Mario et al., *Contributi per una teoria del rilevamento architettonico*, 2011.
2. GAIANI Marco, *Per una revisione critica della teoria del rilievo dopo l'avvento dei mezzi digitali*, 2012.
3. BIANCHINI Carlo, *Rilievo 2.0: nuove tecnologie, nuovi strumenti, nuovi rilevatori?*, 2014; DOCCI Mario, *Per una teoria del rilevamento architettonico. La fusione della teoria della misura con la teoria dei modelli*, 2012.
4. BIANCHINI Carlo, *Survey, Modeling, Interpretation as multidisciplinary components of a knowledge system*, 2014.
5. BIANCHINI Carlo et al., *The surveying and representation process applied to architecture: non-contact methods for the documentation of cultural heritage*, 2015.
6. BANFI Fabrizio, *BIM orientation: grades of generation and information for different type of analysis and management process*, 2017.

7. BRUSCHI Arnaldo, *Problemi e metodi di ricerca storico-critica sull'architettura*, 1984.
8. CENTOFANTI Mario, *Della natura del modello architettonico*, 2010.
9. CENTOFANTI Mario, *Le dimensioni scientifiche del modello digitale*, 2018.
10. BRUSAPORCI Stefano, *Modellazione e rappresentazione digitale per i beni architettonici*, 2013.
11. MIGLIARI Riccardo et al., *Recenti linee di ricerca*, 2001.
12. BRUSAPORCI Stefano, *Modellazione e rappresentazione digitale per i beni architettonici*, op. cit.
13. DE LUCA Livio et al., *A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements*, 2007. DE LUCA Livio et al., *A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage*. APOLLONIO Fabrizio Ivan et al., *BIM-BASED MODELING AND DATA ENRICHMENT OF CLASSICAL ARCHITECTURAL BUILDINGS*, 2012.
14. IPPOLITO Alfonso, *Elaborazione tridimensionale e analisi del modello della cupola Hagia Sophia*, 2005. IPPOLITO Alfonso, *Dalla nuvola di punti alla superficie. Analisi e problematiche*, 2007.
15. MIGLIARI Riccardo, *Introduzione alla prospettiva dinamica interattiva*, 2008. MIGLIARI Riccardo, *Geometria descrittiva*, 2009.
16. IPPOLITO Alfonso, *Elaborazione tridimensionale e analisi del modello della cupola Hagia Sophia*, op. cit.

III. I MODELLI CRITICI INTERPRETATIVI: UNO STRUMENTO DI CONOSCENZA

1. FASOLO Vincenzo, *Analisi grafica dei valori architettonici*, 1955, p.3.
2. ECO Umberto, *La struttura assente*, 1967.
3. DOCCI Mario, *Disegno e rilievo: quale didattica?*, 1989.
4. LÉVI-STRAUSS Claude, *Elogio dell'antropologia*, 2008.
5. DOCCI Mario, CHIAVONI Emanuela, *Saper leggere l'architettura*, 2017.
6. GAIANI Marco, *Architectorum delineamenta instrumenta ovvero le interfacce di lavoro dell'architetto*, 2008.
7. SACCHI Livio, UNALI Maurizio, *Architettura e cultura digitale*, 2003.
8. MIGLIARI Riccardo, *Prospettiva dinamica interattiva*, 2008.
9. BRUSAPORCI Stefano, *Modelli digitali per la rappresentazione dell'architettura*, 2011.
10. GAIANI Marco, *Architectorum delineamenta instrumenta ovvero le interfacce di lavoro dell'architetto*, op. cit.
11. MALDONADO Tomas, *Reale e virtuale*, 2015.
12. SPAGNESI Gianfranco, *Autonomia della Storia dell'architettura*, 1984, p.7.
13. BRUSAPORCI Stefano, *Swimming in the Liquid Age: A Disciplinarily Reflection on Computer-Based Visualization of Architectural Heritage*, 2016.
14. SPAGNESI Gianfranco, *Autonomia della Storia dell'architettura*, op. cit., p.10.
15. BRUSCHI Arnaldo, *Problemi e metodi di ricerca storico-critica sulla architettura*, 1984, p.22.

16. BRANDI Cesare, *Teoria del restauro*, 1963.
17. BRUSAPORCI Stefano, *On Visual Computing for Architectural Heritage*, 2015.
18. Ibidem.
19. CENTOFANTI Mario, *Della natura del modello architettonico*, 2010.
20. Ibidem, p. 43.
21. POPPER Karl R., *Logik der Forshung [The Logic of Scientific Discovery]*, 1935.
22. CENTOFANTI Mario, *Le dimensioni scientifiche del modello digitale*, 2018. BIANCHINI Carlo, *Survey, Modeling, Interpretation as multidisciplinary components of a knowledge system*, 2014.
23. DENARD Hugh, *A new introduction to The London Charter*, 2012, p. 60
24. *The London Charter*, 2009, <http://www.londoncharter.org/>, p. 2.
25. Ivi, p. 12.
26. Ivi, p. 13.
27. BENTKOWSKA-KAFEL Anna et al., (a cura di), *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, 2012.
28. BRUSAPORCI Stefano, *The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage*, 2017.
29. *Principlees of Sevilla*, 2012, p. 8.
30. CENTOFANTI Mario, *Le dimensioni scientifiche del modello digitale*, op. cit. BRUSAPORCI Stefano, TRIZIO Ilaria, *La "Carta di Londra" e il patrimonio architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione*, 2013.
31. CENTOFANTI Mario, *Le dimensioni scientifiche del modello digitale*, 2018.
32. SOMMA Maria Carla, *Il santuario di S. Vittorino ad Amiternum: formazione e trasformazioni di uno spazio cultuale*, 2012, p. 186.
33. SIDOR Artur Witold, *La tomba di S. Vittorino e le sue formulazioni monumentali*, 2016.
34. PANI ERMINI Letizia, *Il Santuario del martire Vittorino*, 1975.
35. SAYGI Gamze, REMONDINO Fabio, *Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-Art and Future Perspectives*, 2013.
36. APOLLONIO Fabrizio Ivan, *Architettura in 3D*, 2012, p.3.
37. SAYGI Gamze, AGUGIARO Giorgio, HAMAMCIOĞLU-TURAN Mine, REMONDINO Fabio, *Evaluation of GIS and BIM roles for the information management of historical buildings*, 2013.
38. GAIANI Marco et al., *Standard di acquisizione e strutturazione di modelli digitali per sistemi informativi di aree archeologiche: il caso di Pompei*, 2009.
39. TRIZIO Ilaria et al., *Integration of three-dimensional digital models and 3D GIS: the documentation of the medieval burials of Amiternum (L'Aquila, Italy)*, 2018.
40. CENTOFANTI Mario et al., *The architectural information system siarch3d-univag for analysis and preservation of architectural heritage*, 2011.
41. SAYGI Gamze, AGUGIARO Giorgio, HAMAMCIOĞLU-TURAN Mine, REMONDINO Fabio, op. cit.
42. SACCUCCI Marco, PELLICCIO Assunta, *Integrated BIM-GIS system for the enhancement of urban heritage*, 2018
43. VACCA Giuseppina et al., *GIS-HBIM integration for the management of historical buildings*, 2018.
44. ISO 29481-1:2010, aggiornata al 2016.

45. UNI 11337:2017, parte 4, pp.8-9.
46. BRUSAPORCI Stefano, *Swimming in the Liquid Age: A Disciplinarily Reflection on Computer-Based Visualization of Architectural Heritage*, 2016.
47. SIMEONE Davide et al., *B(H)IM – Built Heritage Information Modeling. Extending BIM to historical and archeological heritage representation*, 2014.
48. BRUSAPORCI Stefano et al., *A framework for architectural heritage hbim semantization and development*, 2018.
49. MURPHY Maurice et al., *Historic Building Information Modelling (HBIM)*, 2009.
50. BRUSAPORCI Stefano, *Swimming in the Liquid Age: A Disciplinarily Reflection on Computer-Based Visualization of Architectural Heritage*, op. cit..
51. BIANCHINI Carlo et al., *Il contributo della Rappresentazione nel Building Information Modeling (BIM) per la gestione del costruito*, i 2016, .
52. ORENI Daniela et al., *Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)*, 2014.
53. GARAGNANI Simone, *Building Information Modeling a real world knowledge. A methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment*, 2013.
54. DORE Conor, MURPHY Maurice, M., *Semi-Automatic Modelling of Building Façades with Shape Grammars Using Historic Building Information Modelling*, 2013.
55. APOLLONIO Fabrizio Ivan, *Architettura in 3D*, op. cit.
56. QUATTRINI Ramona et al., *Measurement and Historical Information Building: Challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content*, 2016.
- APOLLONIO Fabrizio Ivan et al., *A reality integrated BIM for aArchitectural heritage conservation*, 2017.
57. PARIS Leonardo, WAHBEH Wissam, *Survey and representation of the parametric geometries in HBIM*, 2016.
58. DI LUGGO Antonella et al., *Sistemi voltati nei processi cloud to BIM*, in Empler, T., Valenti, G. M. (a cura di), *3D Modeling&BIM Nuove frontiere*, 2018.
59. GARAGNANI Simone, *Building Information Modeling a real world knowledge. A methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment*, op. cit.
- NIETO Juan Enrique et al., *Management of built heritage via the HBIM project: a case study of flooring and wall tiling*, 2016.
60. SIMEONE Davide et al., *B(H)IM – Built Heritage Information Modeling. Extending BIM to historical and archeological heritage representation*, op. cit.
61. INZERILLO Laura et al., *BIM and Architectural Heritage: towards an operational methodology for the knowledge and the management of Cultural Heritage*, 2016.
62. BRUSAPORCI Stefano, MAIEZZA Pamela, *Re-Loading BIM: Between Spatial and Database Information Modeling for Architectural Heritage Documentation*, 2016.
63. The London Charter, 2009, disponibile in: <http://www.londoncharter.org/>. Principlees of Sevilla, 2012, disponibile in: <http://smartheritage.com/seville-principles/seville-principles>. BRUSAPORCI Stefano, *The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage*, 2017.
64. DE LUCA Livio et al., *A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage*, 2011. APOLLONIO Fabrizio Ivan, GIOVANNINI, E.C., *A paradata documentation methodology for the Uncertainty Visualization in digital reconstruction of CH artifacts*, 2015. BRUSAPORCI Stefano, *The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage*, op. cit.

65. BORRA Davide, *Sulla verità del modello 3D. Un metodo per comunicare la validità dell'anastilosi virtuale*, 2004.
66. STEFANI Chiara et al., *Time indeterminacy and spatio-temporal building transformations: An approach for architectural heritage understanding*, 2010.
67. DE LUCA Livio et al., *A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage*, op. cit.
68. APOLLONIO Fabrizio Ivan et al., *Characterization of Uncertainty and Approximation in Digital Reconstruction of CH Artifacts*, 2013.
69. APOLLONIO Fabrizio Ivan, GIOVANNINI Elisabetta C., *A paradata documentation methodology for the Uncertainty Visualization in digital reconstruction of CH artifacts*, op. cit.
70. BIANCHINI Carlo, NICASTRO Saverio, *The definition of the Level of Reliability: a contribution to the transparency of Historical-BIM process*, 2018.
71. BRUMANA Raffaella et al., *Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOL): surveying, preservation, site intervention – the Basilica di Collemaggio (L'Aquila)*, 2018.
72. ORENI Daniela et al. *Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)*, op. cit.
73. MAIEZZA Pamela, *As-Built reliability in architectural HBIM modeling*, 2019.

IV. I MODELLI PER LA COMUNICAZIONE E LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO

1. ICOMOS, *Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites*, 2008.
2. Commissione Franceschini, *Per la salvezza dei beni culturali in Italia: Atti e documenti della Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio*, Casa editrice Colombo, Roma, 1967, Dichiarazione XVII, p.2.
3. TILDEN Freeman, *Interpreting Our Heritage*, 1957.
4. ICOMOS, *Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites*, op. cit., p.4
5. European Commission, *The Onlife Initiative: concept reengineering for rethinking societal concerns in the digital transition*, 2013.
6. BAUDRILLARD Jean, *L'échange symbolique et la mort*, 1976.
7. BRUSAPORCI Stefano, *Della rappresentazione in epoca post-digitale*, 2017.
8. MILGRAM Paul, KISHINO Fumio, *A taxonomy of mixed reality visual displays*, 1994.
9. SUTHERLAND Ivan, *The Ultimate Display*, 1965.
10. MILGRAM Paul, COLQUHOUN Herman Jr., *A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration*, 1999, disponibile in: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.32.6230&rep=rep1&type=pdf>
11. UNESCO, *Charter on the Preservation of the Digital Heritage*, 2003, disponibile in: http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
12. STONE Robert J., *Virtual heritage*, 1999.
13. BERTOCCHI Stefano et al., *Montepulciano 3D: modelli virtuali per l'urbanistica e lo sviluppo dell'ambiente urbano*, 2014.
14. FERRIGHI Alessandra, *Visualizing Venice: A Series of Case Studies and a Museum on the Arsenal's Virtual History*, 2013.

15. SZELISKI Richard, SHUM Heung-Yeung, *Creating full view panoramic image mosaics and environment maps*, 1997.
16. FANGI Gabriele, *Investigation On The Suitability Of The Spherical Panoramas By Realviz Stitcher For Metric Purposes*, 2006. FANGI Gabriele, *The Multi-image spherical Panoramas as a tool for Architectural Survey*, 2007. D'ANNIBALE Enzo et al., *From panoramic photos to a low-cost photogrammetric workflow for cultural heritage 3d documentation*, 2013.
17. ROSSI Daniele, *Brand New: panorama. L'immagine continua per il disegno della realtà virtuale*, 2018.
18. FANGI Gabriele, *Investigation On The Suitability Of The Spherical Panoramas By Realviz Stitcher For Metric Purposes*, op. cit.
19. FANGI Gabriele, *The Multi-image spherical Panoramas as a tool for Architectural Survey*, op. cit.
20. IPPOLITI Elena et al., *2.5d/3d models for the enhancement of architectural-urban heritage. An virtual tour of design of the fascist headquarters in Littoria*, 2014.
21. CALVANO Michele, WAHBEH Wissam, *Disegnare la Memoria. L'immagine della città attraverso la rappresentazione integrata - Drawing the Memory. The image of the city through the integrated representation*, 2014.
22. GIACCARDI Elisa, *Introduction: reframing Heritage in a participatory culture*, 2012.
23. BERTOCCHI Stefano et al., *Montepulciano 3D: modelli virtuali per l'urbanistica e lo sviluppo dell'ambiente urbano*, op. cit.
24. BIMBER Oliver, RASKAR Ramesh, *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*, 2005. ROSSI Daniele, *Smart architectural models: Spatial projection-based augmented mock-up*, 2013.
25. ANTONELLI Ezio, MORDENTI Andrea, *La videoproiezione architettuale*, 2011.
26. ROSSI Daniele, *Smart architectural models: Spatial projection-based augmented mock-up*, op. cit.
27. DE LUCA Livio et al., *Revealing the "spirit of the place". Genius Loci, a spatial augmented reality performance based on 3D data and historical hypotheses*, 2012.

V. LA SPERIMENTAZIONE: MODELLI INTERPRETATIVI PER IL PATRIMONIO ARCHITETTONICO DELL'AQUILA

1. CIRANNA Simonetta, *L'architettura per il potere: il rafforzamento dei Corsi Vittorio Emanuele II e Federico II tra XIX e XX secolo*, 2011.
 2. CENTOFANTI Mario, *I portici nel centro storico dell'Aquila. Trasformazioni urbane e innovazioni tipologica. L'isolato della Biblioteca*, 2001.
 3. CONTINENZA Romolo, *L'isolato della Cassa di Risparmio e quello dell'ex Palazzo Gigotti*, 2001.
 4. Il ridimensionamento territoriale della provincia dell'Aquila, previsto dalla Riforma amministrativa del 1927 per la creazione delle nuove provincie di Pescara e Rieti, aveva acuito la marginalità della città, già segnata, sin dall'epoca post-unitaria, dall'isolamento geografico rispetto alle grandi vie di comunicazione. La necessità di bilanciare gli equilibri socio-politici regionali, e ribadire il primato aquilano in Abruzzo, spinse il neo-podestà Adelchi Serena ad attuare il progetto della *Grande Aquila*, con il chiaro intento di rendere la città un moderno e prestigioso capoluogo (si veda a riguardo CAVALIERI Walter, MARRELLA Francesco, *Adelchi Serena. Il gerarca dimenticato*, 2010).
- L'annessione di 9 comuni limitrofi (Regio Decreto n.1558 del 29 luglio 1927 e Regio Decreto n.2459 dell'8 dicembre 1927), in linea con le direttive fasciste di accentramento amministrativo, portò ad un sostanziale aumento del territorio e al raddoppiamento della popolazione di quello che, dopo la riforma, era divenuto il capoluogo di provincia meno popoloso d'Abruzzo.

L'ampliamento territoriale e demografico fu accompagnato dal progetto di trasformazione urbanistica della città. Attraverso una serie di investimenti di regime, Serena mirava a fare dell'Aquila una elegante e moderna città monumentale, sviluppandola sia come efficiente capoluogo amministrativo che in senso turistico.

5. GIANNANTONIO Raffaele, *La Costruzione Del Regime. Urbanistica, Architettura e Politica nell'Abruzzo del fascismo*, 2006.

6. STOCKEL Giorgio, *La città dell'Aquila. Il centro storico tra il 1860 e il 1960*, 1981.

7. Archivio Storico INA Assitalia (Assicurazioni Generali), Fondo Storico Immobiliare, busta 12659.

8. Archivio di Stato dell'Aquila (ASA), Tribunale civile dell'Aquila, perizia Strina, vol. 34-1/1870.

9. ASA, Busta 237, cat. X, fascicolo 3.

10. STOCKEL Giorgio, *La città dell'Aquila. Il centro storico tra il 1860 e il 1960*, op. cit.

11. ASA, Busta 10, cat. X, fascicolo 3; Archivio Vittorini, Busta 1.1

12. PORETTI Sergio, *Modernismi italiani, architettura e costruzione nel Novecento*, 2008.

13. SDEGNO Alberto, *Augmented Visualization: New Technologies for Communicating Architecture*, i 2018.

14. CLEMENTI Alessandro, PIRODDI Elio, *L'Aquila*, 1988.

15. STOCKEL Giorgio, *La città dell'Aquila. Il centro storico tra il 1860 e il 1960*, op. cit.

CENOFANTI Mario, BRUSAPORCI Stefano, *Il disegno della città e le sue trasformazioni*, 2011.

16. CENOFANTI Mario, BRUSAPORCI Stefano, *Architettura e città nella rappresentazione cartografica dell'Aquila tra Settecento e Ottocento*, 2014.

17. BENTKOWSKA-KAFEL Anna et al., *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, 2012.

BRUSAPORCI Stefano, *The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage*, 2017.

18. CENOFANTI Mario, *Il progetto infinito e l'architettura interrotta: chiesa e collegio del Gesù all'Aquila*, 2000.

19. Ibidem.

BIBLIOGRAFIA

- ANTONELLI Ezio, MORDENTI Andrea, *La videoproiezione architettuale*, in "DisegnareCon", 4, n. 8, 2011.
- APOLLONIO Fabrizio Ivan, *Architettura in 3D*, Bruno Mondadori, Milano, 2012.
- APOLLONIO Fabrizio Ivan, GAIANI Marco, SUN Zheng, *BIM-Based Modeling and Data Enrichment of Classical Architectural Buildings*, in "SCIRES", 2, 2, 2012, 41-62.
- APOLLONIO Fabrizio Ivan, GAIANI Marco, SUN Zheng, *Characterization of Uncertainty and Approximation in Digital Reconstruction of CH Artifacts*, in "Le Vie dei Mercanti XI Forum Internazionale di Studi", 13-15 giugno 2013, Aversa e Capri, a cura di Carmine Gambardella, La Scuola di Pitagora, 2013, pp. 860-869.
- APOLLONIO Fabrizio Ivan, GIOVANNINI Elisabetta C., *A paradata documentation methodology for the Uncertainty Visualization in digital reconstruction of CH artifacts*, in "SCIRES-IT, 5(1)", 2015, pp. 1-24.
- APOLLONIO Fabrizio Ivan, GAIANI Marco, SUN Zheng, *A reality integrated BIM for Architectural heritage conservation*, in IPPOLITO Alfonso (a cura di), *Handbook of research on emerging technologies for architectural and archaeological heritage*, IGI Global, Hershey, PA, 2017, pp. 31-65.
- BANFI Fabrizio, *BIM orientation: grades of generation and information for different type of analysis and management process*, in "Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.", XLII-2/W5, 2017, pp. 57-64.
- BAUDRILLARD Jean, *L'échange symbolique et la mort*, Gallimard, Paris, 1976.
- BENTKOWSKA-KAFEL Anna, DENARD Hugh, BAKER Drew (a cura di), *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, Ashgate Publishing, Farnham, 2012.
- BERTOCCI Stefano, BUA Sara, PARRINELLO Sandro, PICCHIO Francesca, *Montepulciano 3D: modelli virtuali per l'urbanistica e lo sviluppo dell'ambiente urbano*, in "DisegnareCon", 13, 2014.
- BIANCHINI Carlo, *Rilievo 2.0: nuove tecnologie, nuovi strumenti, nuovi rilevatoi?*, in GIANDEBIAGGI Paolo, VERNIZZI Chiara (a cura di), *Italian survey & international experience*, Gangemi Editore, Roma, 2014.
- BIANCHINI Carlo, *Survey, Modeling, Interpretation as multidisciplinary components of a*

- knowledge system, in "Scires It", 4, 1, 2014, pp.15-24.
- BIANCHINI Carlo, IPPOLITO Alfonso, BARTOLOMEI Cristina, *The surveying and representation process applied to architecture: non-contact methods for the documentation of cultural heritage*, in BRUSAPORCI Stefano (a cura di), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, IGI Global, Hershey, PA, 2015.
- BIANCHINI Carlo, INGLESE Carlo, IPPOLITO Alfonso, *Il contributo della Rappresentazione nel Building Information Modeling (BIM) per la gestione del costruito*, in "DisegnareCon", 9, 16, 2016, pp. 10.1-10.9.
- BIANCHINI Carlo, NICASTRO Saverio, *The definition of the Level of Reliability: a contribution to the transparency of Historical-BIM process*, in "3D Modeling & BIM", 18-19 aprile 2018, Roma, a cura di Tommaso Empler, Fabio Quici, Graziano Mario Valenti, DEI - Tipografia del Genio Civile, 2018, pp. 208-225.
- BIMBER Oliver, RASKAR Ramesh, *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*, A K Peters/ CRC Press, 2005.
- BORRA Davide, *Sulla verità del modello 3D. Un metodo per comunicare la validità dell'anastilosi virtuale*, in "Proceeding of eArcom04 Tecnologie per comunicare l'architettura", 20-22 maggio 2004, Ancona, a cura di MALINVERNI Eva Savina, CLUA, 2004, pp. 132-137.
- BRANDI Cesare, *Teoria del restauro*, Edizioni di Storia e Letteratura, 1963.
- BRUMANA Raffaella, DELLA TORRE Stefano, PREVITALI Mattia et al., *Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOC, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention – the Basilica di Collemaggio (L'Aquila)*, in "Appl Geomat" (2018) 10: 545.
- BRUSAPORCI Stefano, *Modellazione e rappresentazione digitale per i beni architettonici*, in BRUSAPORCI Stefano (a cura di), *Modelli complessi per il patrimonio architettonico-urbano*, Gangemi Editore, Roma, 2013, pp. 18-24.
- BRUSAPORCI Stefano, TRIZIO Ilaria, *La "Carta di Londra" e il patrimonio architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione*, in "Scires It", 3, 2013, pp. 55-68.
- BRUSAPORCI Stefano, *Swimming in the Liquid Age: A Disciplinarily Reflection on Computer-Based Visualization of Architectural Heritage*, in AMORUSO Giuseppe (a cura di), *Handbook of Research on Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools*, IGI Global, Hershey, PA, 2016.
- BRUSAPORCI Stefano, *Della rappresentazione in epoca post-digitale*, in LUIGINI Alessandro (a cura di), *Lineis Descrivere. Sette seminari tra rappresentazione e formazione*, Libria, Melfi, 2017.
- BRUSAPORCI Stefano, *The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage*, in IPPOLITO Alfonso (a cura di), *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, IGI Global, Hershey, PA, 2017, pp. 66-93.
- BRUSAPORCI Stefano, MAIEZZA Pamela, TATA Alessandra, *A framework for architectural heritage hbim semantization and development.*, in "Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.", XLII-2, 2018, pp. 179-184.
- BRUSAPORCI Stefano, *On Visual Computing for Architectural Heritage*, in BRUSAPORCI Stefano (a cura di), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, IGI Global, Hershey, PA, 2015, pp. 94-123.
- BRUSAPORCI Stefano, *Modelli digitali per la rappresentazione dell'architettura*, in "DisegnareCon", 4, n. 8, 2011.

- BRUSAPORCI Stefano, MAIEZZA Pamela, *Re-Loading BIM: Between Spatial and Database Information Modeling for Architectural Heritage Documentation*, in AA.VV. (a cura di), *Dibujar, Construir, Sonar. Investigaciones en torno a la expresion grafica aplicada a la edificacion*, Tirant Lo Blanch, Valencia, 2016, pp. 835-847.
- BRUSCHI Arnaldo, *Problemi e metodi di ricerca storico-critica sull'architettura*, in SPAGNESI Gianfranco (a cura di), *Storia e restauro dell'architettura*, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, Roma, 1984, pp. 7-10.
- CALVANO Michele, WAHBEH Wissam, *Disegnare la Memoria. L'immagine della città attraverso la rappresentazione integrata - Drawing the Memory. The image of the city through the integrated representation*, in "DisegnareCon", 7, n. 13, 2014, p. 1-12.
- CAVALIERI Walter, MARRELLA Francesco, Adelchi Serena. *Il gerarca dimenticato*, Fabiani Stampatori, L'Aquila, 2010.
- CENTOFANTI Mario, *Il progetto infinito e l'architettura interrotta: chiesa e collegio del Gesù all'Aquila*, in "Alle origini dell'Università dell'Aquila: cultura, università, collegi gesuitici all'inizio dell'età moderna in Italia meridionale: atti del convegno internazionale di studi promosso dalla Compagnia di Gesù e dall'Università dell'Aquila nel 4. centenario dell'istituzione dell'Aquilanum Collegium (1596)", 8-11 novembre 1995, L'Aquila, a cura di IAPPELLI Filippo, PARENTE Ulderico, Institutum Historicum Societatis Iesu, 2000.
- CENTOFANTI Mario, *Della natura del modello architettonico*, in BRUSAPORCI Stefano (a cura di), *Sistemi informativi integrati per la tutela la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*, Gangemi Editore, Roma, 2010, pp. 43-54.
- CENTOFANTI Mario, BRUSAPORCI Stefano, *Il disegno della città e le sue trasformazioni*, in "Città e storia", 1, IV, 2011, pp. 151-187.
- CENTOFANTI Mario, CONTINENZA Romolo, BRUSAPORCI Stefano, TRIZIO Ilaria, *The architectural information system siarch3d-univaq for analysis and preservation of architectural heritage*, in "Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.", XXXVIII-5/W16, 2011, pp. 9-14.
- CENTOFANTI Mario, *Modellazione tridimensionale integrate nei sistemi informativi per l'architettura*, in BRUSAPORCI Stefano (a cura di), *Modelli complessi per il patrimonio architettonico-urbano*, Gangemi Editore, Roma, 2013, pp. 16-17.
- CENTOFANTI Mario, BRUSAPORCI Stefano, *Architettura e città nella rappresentazione cartografica dell'Aquila tra Settecento e Ottocento*, in DE SETA Cesare, BUCCARO Alfredo (a cura di) *Città mediterranee in trasformazione. Identità e immagine del paesaggio urbano tra Sette e Novecento*, Edizioni Scientifiche Italiane, 2014.
- CENTOFANTI Mario, *I portici nel centro storico dell'Aquila. Trasformazioni urbane e innovazioni tipologica. L'isolato della Biblioteca*, in "Contributi al Convegno Rilievo e forma urbana: il disegno dei portici, il disegno de la città", 6-7 dicembre 2001, Torino, a cura di DAVICO Pia, GIORGETTI Cinzia Michi, OPALIO Alberto, Celid, pp.613-620.
- CENTOFANTI Mario, *Le dimensioni scientifiche del modello digitale*, in "Disegno", 2, 2018.
- CIRANNA Simonetta, *L'architettura per il potere: il rafforzamento del Corsi Vittorio Emanuele II e Federico II tra XIX e XX secolo*, in "Città e Storia", VI, 2011, pp. 207-237.
- CLEMENTI Alessandro, PIRODDI Elio, *L'Aquila*, Laterza, Bari, 1988.
- Commissione Franceschini, *Per la salvezza dei beni culturali in Italia: Atti e documenti della Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, archeologico, artistico e del paesaggio*, Casa editrice Colombo, Roma, 1967.

- CONTINENZA Romolo, *L'isolato della Cassa di Risparmio e quello dell'ex Palazzo Gigotti*, in "Contributi al Convegno Rilievo e forma urbana: il disegno dei portici, il disegno della città", 6-7 dicembre 2001, Torino, a cura di DAVICO Pia, GIORGETTI Cinzia Michi, OPALIO Alberto, Celid, pp. 621-626.
- D'ANNIBALE Enzo, TASSETTI Anna Nora, MALINVERNI Eva Savina, *From panoramic photos to a low-cost photogrammetric workflow for cultural heritage 3d documentation*, in "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", XL-5/W2, 2013.
- DE LUCA Livio, VERON Philippe, FLORENZANO Michel, *A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements*, in "The Visual Computer", 23, 3, 2007, pp. 181-205.
- DE LUCA Livio, FAVRE-BRUN Aurelie, JACQUEMIN Christian, CAYE Véronique, *Revealing the "spirit of the place". Genius Loci, a spatial augmented reality performance based on 3D data and historical hypotheses*, Proceedings of the 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, 2012.
- DE LUCA Livio, BUSAYARAT Chawee, STEFANI Chiara, VERON Philippe, FLORENZANO Michel, *A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage*, in "Computers & Graphics", 35, 2, pp. 227-241.
- DENARD Hugh, *A new introduction to The London Charter*, in BENTKOWSKA-KAFEL Anna, DENARD Hugh, BAKER Drew (a cura di), *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, Ashgate Publishing, Farnham, 2012.
- DI LUGGO Antonella, SCANDURRA Simona, PULCRANO Margherita, SICONOLFI Mirko, MONACO Stefania, *Sistemi volati nei processi cloud to BIM*, in "3D Modeling & BIM", 18-19 aprile 2018, Roma, a cura di Tommaso Emler, Fabio Quici, Graziano Mario Valenti, DEI - Tipografia del Genio Civile, 2018, pp. 162-177.
- DOCCI Mario, *Disegno e rilievo: quale didattica?*, in "Disegnare idee immagini", 0, 1989, pp. 37-54.
- DOCCI Mario, BIANCHINI Carlo, IPPOLITO Alfonso, *Contributi per una teoria del rilevamento architettonico*, in "Disegnare, Idee Immagini", n. 42, Roma 2011, 34-41.
- DOCCI Mario, *Per una teoria del rilevamento architettonico. La fusione della teoria della misura con la teoria dei modelli*, in CARLEVARIS Laura, FILIPPA Monica (a cura di), *Elogio della teoria. Identità delle discipline del disegno e del rilievo*, Gangemi Editore, Roma, 2012.
- DOCCI Mario, CHIAVONI Emanuela, *Saper leggere l'architettura*, Editori Laterza, Bari, 2017.
- DORE CONOR, MURPHY Maurice, *Semi-Automatic Modelling of Building Façades with Shape Grammars Using Historic Building Information Modelling*, in "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", Volume XL-5/W1, 2013.
- ECO Umberto, *La struttura assente*, Bompiani, Milano, 1967.
- European Commission, *The Onlife Initiative: concept reengineering for rethinking societal concerns in the digital transition*, 2013.
- FASOLO Vincenzo, *Analisi grafica dei valori architettonici*, Università di Roma, Facoltà di Architettura, Istituto di Storia dell'Architettura, Roma, 1955.
- FANGI Gabriele, *Investigation On The Suitability Of The Spherical Panoramas By Realviz Stitcher For Metric Purposes*, in "ISPRS Archive", XXXVI, Part 5, 2006.
- FANGI Gabriele, *The Multi-image spherical Panoramas as a tool for Architectural Survey*, in "ISPRS International Archives", Vol XXXVI-5/C53, 2007.

- FERRIGHI Alessandra, *Visualizing Venice: A Series of Case Studies and a Museum on the Arsenal's Virtual History*, in CALABI Donatella (a cura di), *Built city, designed city, virtual city, the museum of the city*, Centro per lo studio di Roma (CROMA), 2013.
- GAIANI Marco, *Architectorum delineamenta instrumenta ovvero le interfacce di lavoro dell'architetto*, in UNALI Maurizio (a cura di), *Abitare virtuale significa rappresentare*, Edizioni Kappa, Roma, 2008.
- GAIANI Marco, BENEDETTI Benedetto, APOLLONIO Fabrizio Ivan, *Standard di acquisizione e strutturazione di modelli digitali per sistemi informativi di aree archeologiche: il caso di Pompei*, in "Disegnare Idee Immagini", 39, 2009, pp. 60-73.2.
- GAIANI Marco, *Per una revisione critica della teoria del rilievo dopo l'avvento dei mezzi digitali*, in CARLEVARIS Laura, FILIPPA Monica (a cura di), *Elogio della teoria. Identità delle discipline del disegno e del rilievo*, Gangemi Editore, Roma, 2012.
- GARAGNANI Simone, *Building Information Modeling a real world knowledge. A methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment*, in "2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage 2013)", 28 ottobre-1 November 2013, Marseille, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), pp. 489-496.
- GIACCARDI Elisa, *Introduction: reframing Heritage in a participatory culture*, in GIACCARDI Elisa (a cura di), *Heritage and Social Media: Understanding heritage in a Participatory Culture*, Routledge, Abingdon, 2012, pp. 1-10.
- GIANNANTONIO Raffaele, *La Costruzione Del Regime. Urbanistica, Architettura e Politica nell'Abruzzo del fascismo*, Rocco Carabba, Lanciano, 2006.
- ICOMOS, *Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites*, 2008.
- INZERILLO Laura, LO TURCO Massimiliano, PARRINELLO Sandro, SANTAGATI Cettina, VALENTI Graziano Mario, *BIM and Architectural Heritage: towards an operational methodology for the knowledge and the management of Cultural Heritage*, in "DisegnareCon", 9, 16, 2016, pp. 16.1-16.9.
- IPPOLITI Elena, CALVANO Michele, MORES Lorenzo, *2.5d/3d models for the enhancement of architectural-urban heritage. An virtual tour of design of the fascist headquarters in Littoria*, in "ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", II-5, 2014.
- IPPOLITO Alfonso, *Elaborazione tridimensionale e analisi del modello della cupola Hagia Sophia*, in FIORUZZI Tiziana (a cura di), *Metodologie innovative e integrate per il rilevamento dell'architettura e dell'ambiente*, Prin 2007, Gangemi Editore, Roma, 2005.
- IPPOLITO Alfonso, *Dalla nuvola di punti alla superficie. Analisi e problematiche*, in CHIAVONI Emanuela, PAOLINI Priscilla (a cura di), *Metodi e tecniche integrate di rilevamento per la realizzazione di modelli virtuali dell'architettura della città*, Gangemi Editore, Roma, 2007.
- ISO 29481-1:2010, aggiornata al 2016.
- LÉVI-STRAUSS Claude, *Elogio dell'antropologia*, Einaudi, Torino, 2008.
- MAIEZZA Pamela, *As-Built reliability in architectural HBIM modeling*, in "The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2019, XLII-2/W9, pp. 461-466.
- MALDONADO Tomás, *Reale e virtuale*, Feltrinelli, Milano, 2015.
- MIGLIARI Riccardo, CIAMMAICHELLA Massimiliano, CURUNI Michele, DE MAJO Tullia, PAOLINI Priscilla, *Recenti linee di ricerca*, in "Disegnare Idee Immagini", 23/2001, 71-83.
- MIGLIARI Riccardo, *Introduzione alla prospettiva dinamica interattiva*, in MIGLIARI Riccardo

- (a cura di), *Prospettiva dinamica interattiva*, Edizioni Kappa, Roma, 2008.
- MIGLIARI Riccardo, *Prospettiva dinamica interattiva*, Edizioni Kappa, Roma, 2008.
- MIGLIARI Riccardo, *Geometria descrittiva*, Edizioni Kappa, Roma, 2009.
- MILGRAM Paul, KISHINO Fumio, *A taxonomy of mixed reality visual displays*, in "IEICE Transaction on Information System", E77-D, 12, 1994, pp. 1321-1329.
- MILGRAM Paul, COLQUHOUN Herman Jr., *A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration*, 1999, disponibile in: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.32.6230&rep=rep1&type=pdf>
- MURPHY Maurice, MCGOVERN Eugene, PAVIA Sara, *Historic Building Information Modelling (HBIM)*, in "Structural Survey", 27, 4, 2009, pp.311-327.
- NIETO Juan Enrique, MOYANO Juan José, RICO Fernando, ANTON Daniel, *Management of built heritage via the HBIM project: a case study of flooring and wall tiling*, in "Virtual Archaeology Review", 7(14), 2016, pp. 1-12.
- ORENI Daniela, BRUMANA Raffaella, DELLA TORRE Stefano, BANFI Fabrizio, BARAZZETTI Luigi, PREVITALI Mattia, *Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)*, in "ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", Vol. II, 2014, pp. 267-273.
- PANI ERMINI Letizia, *Il Santuario del martire Vittorino*, in "Quaderni Storico-artistici dell'Aquilano", Terni 1975.
- PARIS Leonardo, WAHBEH Wissam, *Survey and representation of the parametric geometries in HBIM*, in "DisegnareCon", 9, 16, 2016, pp. 12.1-12.9.
- POPPER Karl Raimund, *Logik der Forshung [The Logic of Scientific Discovery]*, Springer, Wien, 1935.
- PORETTI Sergio, *Modernismi italiani, architettura e costruzione nel Novecento*, Gangemi Editore, Roma, 2008.
- Principlees of Sevilla, 2012, <http://smartheritage.com/seville-principles/seville-principles>.
- QUATTRINI Ramona, CLINI Paolo, NESPECA Romina, RUGGERI Ludovico, *Measurement and Historical Information Building: Challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content*, in "DisegnareCon", 9,16, 2016, p. 14.1-14.11.
- ROSSI Daniele, *Smart architectural models: Spatial projection-based augmented mock-up*, in "2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage 2013)", 28 ottobre-1 November 2013, Marseille, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Vol. 2, pp. 677-684.
- ROSSI Daniele, *Brand New: panorama. L'immagine continua per il disegno della realtà virtuale*, in SALERNO Rossella (a cura di), *Rappresentazione materiale/immateriale - Drawing as (in) tangible*, Gangemi Editore, 2018, pp. 1389-1396.
- SACCHI Livio, UNALI Maurizio, *Architettura e cultura digitale*, Skira Editore, Milano, 2003.
- SACCUCCI Marco, PELLICCIO Assunta, *Integrated BIM-GIS system for the enhancement of urban heritage*, in "Metrology for Archaeology and Cultural Heritage Proceedings", Cassino 22-24 ottobre 2018
- SAYGI Gamze, REMONDINO Fabio, *Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-Art and Future Perspectives*, in "International Journal of Heritage in the Digital Era", 2, 4, 2013, pp. 695-713.
- SAYGI Gamze, ACUGIARO Giorgio, HAMAMCIOĞLU-TURAN Mine, REMONDINO Fabio, *Evaluation of GIS and BIM roles for the information management of historical buildings*, in "ISPRS

- Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.", II-5/W1, 2013, pp.283-288.
- SDEGNO Alberto, *Augmented Visualization: New Technologies for Communicating Architecture*, in ROSSI Michela, BURATTI Giorgio (a cura di), *Computational Morphologies*, Springer, Cham, 2018.
- SIDOR Artur Witold, *La tomba di S. Vittorino e le sue formulazioni monumentali*, in "Studia Elblaskie", vol. XVII, 2016, pp. 93-116.
- SIMEONE Davide, CURSI Stefano, TOLDO Ilaria, CARRARA Gianfranco, *B(H)IM – Built Heritage Information Modeling. Extending BIM to historical and archeological heritage representation*, in "Fusion - Proceedings of the 32nd eCAADe Conference - Volume 1", 10-12 September 2014, Faculty of Engineering and Environment, Newcastle upon Tyne, England, UK, a cura di THOMPSON Emine Mine, pp. 613-622.
- SOMMA Maria Carla, *Il santuario di S. Vittorino ad Amiternum: formazione e trasformazioni di uno spazio culturale*, in "Martiri, santi, patroni: per una archeologia della devozione Atti X Congresso Nazionale di Archeologia Cristiana", 15-18 settembre 2010, Università della Calabria, a cura di COSCARELLA Adele, DE SANTIS Paola, Arcavacata di Rende, 2012, p. 185-194.
- SPAGNESI Gianfranco, *Autonomia della Storia dell'architettura*, in SPAGNESI Gianfranco (a cura di), *Storia e restauro dell'architettura*, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, Roma, 1984, p.7.
- STEFANI Chiara, DE LUCA Livio, VÉRON Philippe, FLORENZANO Michel, *Time indeterminacy and spatio-temporal building transformations: An approach for architectural heritage understanding*, in "International Journal on Interactive Design and Manufacturing", 4(1), 6, 2010, pp.1-74.
- STOCKEL Giorgio, *La città dell'Aquila. Il centro storico tra il 1860 e il 1960*, Gallo Cedrone, L'Aquila, 1981.
- STONE Robert J., *Virtual heritage*, UNESCO World Heritage Magazine, 1999 pp. 18-20.
- SUTHERLAND Ivan, *The Ultimate Display*, in "Proceeding of the IFIP Congress", 1965, pp. 506-508.
- SZELISKI Richard, SHUM Heung-Yeung, *Creating full view panoramic image mosaics and environment maps*, in "Proceedings of SIGGRAPH", 1997, pp. 251-258.
- TIELDEN Freeman, *Interpreting Our Heritage*, University of North Carolina Press, Chapel Hill, NC, 1957.
- The London Charter, 2009, <http://www.londoncharter.org/>, p. 2.
- TRIZIO Ilaria, SAVINI Francesca, GIANNANGELI Alessandro, *Integration of three-dimensional digital models and 3D GIS: the documentation of the medieval burials of Amiternum (L'Aquila, Italy)*, in "Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.", XLII-2, 2018, pp.1121-1128.
- UNESCO, Charter on the Preservation of the Digital Heritage, 2003, disponibile in: http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- UNI 11337:2017, parte 4, pp.8-9.
- VACCA Giuseppina, QUAQUERO Emanuela, PILI Davide, BRANDOLINI Mauro, *GIS-HBIM integration for the management of historical buildings*, in "Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.", XLII-2, 2018, pp. 1129-1135.