



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano

XII Ciclo Nuova Serie (2011-2013)

Un nuovo approccio di analisi, gestione e controllo del processo edilizio sul patrimonio storico

Saverio D'Auria

Il Tutor

Prof. Arch. Enrico Sicignano

Il Coordinatore

Prof. Ing. Ciro Faella

Il Co-Tutor

Prof. Ing. Salvatore Barba

Alla mia famiglia

SOMMARIO

INTRODUZIONE	3
1. IL BUILDING INFORMATION MODELING - BIM	9
1.1 PREMESSE	9
1.1 DEFINIZIONI	11
1.3 PROCESSI PROGETTUALI A CONFRONTO	13
1.4 BENEFICI E RISCHI NELL'USO DEL BIM	20
1.5 CASO STUDIO DI PROGETTAZIONE BIM	24
2. STATO DELL'ARTE SULLA DIFFUSIONE DEL BIM	27
2.1 PREMESSE	27
2.2 I PAESI ALL'AVANGUARDIA	27
2.3 ALCUNE RAGIONI DELLA DIFFERENTE DIFFUSIONE	32
2.4 LE SCELTE DELL'UNIONE EUROPEA	41
2.5 LE PRIME ESPERIENZE IN ITALIA	43
3. STRUMENTI BIM E MODELLAZIONE PARAMETRICA	49
3.1 PREMESSE	49
3.2 L'EVOLUZIONE DEI SOFTWARE PER LA PROGETTAZIONE	51
3.3 I PIÙ COMUNI SOFTWARE BIM	57
3.4 LA MODELLAZIONE PARAMETRICA	60
3.5 L'INTEROPERABILITÀ DEI SOFTWARE BIM	66

4. IL BIM SURVEYING.....	69
4.1 PREMESSE.....	69
4.2 IL LASER-SCANNING: RILIEVO 3D E RESTITUZIONE	71
4.3 MODELLAZIONE E PROGETTAZIONE BIM PER IL COSTRUITO	77
4.4 CRITICITÀ DEL BIM SURVEYING PER L'EDILIZIA STORICA	84
5. APPLICAZIONE DEL BIM SURVEYING SUI CASI STUDIO.....	89
5.1 PREMESSE.....	89
5.2 DESCRIZIONE DEI WORKFLOW ADOTTATI	91
5.3 PRIMO CASO STUDIO: IL PADIGLIONE MILITARE	92
5.3.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CENNI STORICI	92
5.3.2 IL RILIEVO DIRETTO E LA DIGITALIZZAZIONE GRAFICA DEI DATI.....	92
5.3.3 IL RILIEVO INDIRETTO CON LASER-SCANNER	97
5.3.4 IL POST-PROCESSAMENTO DELLE NUVOLE DI PUNTI.....	98
5.3.5 LA MODELLAZIONE PARAMETRICA IN AMBIENTE BIM	106
5.4 SECONDO CASO STUDIO: IL CASTELLO DI FRANCOLISE	116
5.4.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CENNI STORICI	116
5.4.2 IL RILIEVO DIRETTO E LA DIGITALIZZAZIONE DEI DATI	116
5.4.3 IL RILIEVO INDIRETTO CON LASER-SCANNER E IL POST- PROCESSAMENTO DELLE NUVOLE DI PUNTI	117
5.4.4 LA MODELLAZIONE PARAMETRICA IN AMBIENTE BIM	118
5.5 ANALISI DEI DATI E RISULTATI OTTENUTI	129
CONCLUSIONI	133
RINGRAZIAMENTI	137
INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE	139
BIBLIOGRAFIA	143

INTRODUZIONE

Il tema del recupero dell'edilizia storica è quanto mai attuale, soprattutto in un periodo (come quello che stiamo vivendo ormai da quasi un decennio) in cui, per note ragioni di carattere economico, finanziario, sociale e politico, gli interventi di nuova costruzione sono drasticamente diminuiti e gli investimenti, seppur contenuti, sono di conseguenza dirottati verso la riqualificazione energetica e funzionale, il recupero e il restauro di edifici esistenti.

Il nostro Paese, più di ogni altro, possiede un patrimonio edilizio che, se correttamente gestito e valorizzato, può trasformarsi in una risorsa dal potenziale inestimabile. Spesso, però, le committenze, i tecnici e le imprese non sono pronte nell'affrontare gli impegnativi progetti di intervento sull'edilizia storica, perdendo occasioni di sviluppo e di crescita economica. Basti pensare, ad esempio, agli ingenti fondi che periodicamente l'Unione Europea stanZIA per favorire, tra le altre cose, il recupero delle fabbriche antiche e che spesso il nostro Paese non è in grado di reperire o spendere¹. Le cause più comuni di tali inefficienze (e non solo) sono sicuramente da attribuire alla scarsa propensione – nei campi dell'ingegneria e dell'architettura – verso la programmazione, la gestione di tipo aziendale delle risorse, il lavoro in team, l'aggiornamento continuo, la 'industrializzazione' del cantiere edile, il controllo della qualità e così via.

¹ Alla fine dell'ultimo periodo di stanziamenti dei Fondi Strutturali Europei (2007-2013), l'Italia ha speso complessivamente solo il 45,7 % dei fondi disponibili, questi ultimi pari a circa 21 miliardi di euro. Fonte: economia.panorama.it/numeri/dati-veri-fondi-Ue. Dati aggiornati al 31/12/2013

A valle di queste brevi considerazioni, la ricerca condotta nell'ambito della tesi di dottorato è volta a studiare, dal punto di vista teorico e partendo dallo studio dello stato dell'arte, l'efficienza – in termini di produttività e di qualità del lavoro – di un nuovo approccio di analisi, di gestione e di controllo del processo edilizio mediante l'impiego della metodologia di lavoro del Building Information Modeling e, da un punto di vista sperimentale, la valutazione tanto dell'applicabilità del BIM Surveying al costruito storico (ossia la modellazione BIM che utilizza come dato di partenza nuvole di punti provenienti dal rilievo laser-scanner di un manufatto), quanto degli eventuali vantaggi di quest'ultimo rispetto all'uso di metodi di rilievo e restituzione tradizionali, utilizzando due casi studio di riferimento

Il Building Information Modeling, già ampiamente utilizzato con successo in altri Paesi nell'ambito, però, di interventi di nuova costruzione, è un 'metodo di lavoro' relativamente giovane e ancora poco noto in molte nazioni avanzate dal punto di vista industriale, tra cui l'Italia. Si configura come un metodo olistico e coordinato per assistere i tecnici progettisti, i committenti, i decision makers, i manutentori e tutti coloro i quali partecipano al progetto edilizio².

Nella pratica tradizionale corrente, il ciclo di vita di un fabbricato – dalla progettazione alla direzione dei lavori, dalla gestione delle forniture per il cantiere alla manutenzione dell'opera in esercizio – resta frammentato, basato su un continuo e non organizzato scambio di informazioni tra i vari soggetti coinvolti nel processo edilizio. Errori, omissioni o inesattezze contenute in tali documenti (cartacei o digitali) sono spesso causa di costi imprevisti, di ritardi nella progettazione ed esecuzione dell'opera, di azioni legali tra committenza ed imprese o progettisti.

Come meglio analizzato nei capitoli successivi, studi condotti negli Stati Uniti d'America all'inizio degli anni 2000 dimostrano che la scarsa interoperabilità tra i vari attori del processo edilizio genera ingenti danni economici per l'intera filiera dell'industria delle costruzioni. Queste considerazioni hanno por-

² Garagnani, S.; Luciani, S.; Mingucci, R. *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*, in: DISEGNARECON, Rivista del Dipartimento di Architettura e Pianificazione territoriale dell'Università di Bologna, giugno 2011, p. 5.

tato le nazioni più propense all'innovazione e al cambiamento (USA, Canada, Regno Unito, Finlandia in testa) all'adozione della metodologia BIM nel settore AEC (Architecture, Engineering and Construction), ossia alla progettazione e gestione condivisa del fabbricato, basate su un modello informatico tridimensionale 'intelligente' dell'edificio (denominato *building information model*) contenente tutte le informazioni di natura geometrica, meccanica, energetica, computazionale e manutentiva. In questo modo si riducono drasticamente gli errori dovuti all'assenza di protocolli di progettazione, a incomprensioni nella lettura dei grafici, a inesattezze per scarsa comunicazione tra i vari soggetti.

I benefici tratti dall'utilizzo del Building Information Modeling hanno portato molti Governi anche europei – come Inghilterra, Paesi Bassi, Danimarca, Finlandia e Norvegia – ad emanare non solo linee guida sull'argomento, ma addirittura normative che incentivano l'impiego della metodologia nell'ambito dei lavori pubblici. L'Unione Europea, a riguardo, ha recentemente adottato la direttiva denominata *European Union Public Procurement Directive* (EUPPD) volta a modernizzare le leggi sugli appalti pubblici invitando i 28 Stati membri ad incoraggiare l'utilizzo del BIM per i contratti che riguardano i lavori pubblici o i concorsi di progettazione finanziati con fondi pubblici a partire dal 2016³. Un ulteriore incentivo, quest'ultimo, ad avvalersi più velocemente del BIM.

È bene sottolineare che, come per tutte le attività che gravitano intorno al mondo dell'ingegneria e dell'architettura, anche l'implementazione di una metodologia complessa come il BIM si serve di software dedicati a tali scopi. Questo lavoro di tesi non intende descrivere il funzionamento degli strumenti informatici citati – di cui pure ci si serve per validare gli studi condotti – ma, come già accennato, ha l'intenzione di dimostrare l'efficacia della metodologia nell'ambito degli interventi sul costruito storico. È da tener presente, inoltre, che ad oggi non sono stati ancora messi a punto protocolli o codici condivisi

³ Garritano, F. *Building Information Modeling: negli appalti pubblici possibile un risparmio annuo di oltre 100 miliardi di euro nell'UE*, in: *Tecnici24 - IlSole24Ore*, 21 gennaio 2014. URL: <http://www.tecnici24.com/art/progettazione/2014-01-21/building-information-modeling-appalti-145342.php>.

dalla comunità scientifica e professionale che definiscano in maniera compiuta l'utilizzo del Building Information Modeling per gli interventi sul patrimonio edilizio esistente, cosa che, invece, è già ampiamente consolidata per quanto riguarda le nuove costruzioni, siano esse civili, industriali o infrastrutturali.

La presente tesi di dottorato non ha la pretesa di sciogliere tutti i dubbi legati a queste problematiche, ma vuole fornire un contributo al mondo delle nuove metodologie e tecnologie di progettazione, ha come obiettivi, quindi, la valutazione dell'applicabilità del BIM Surveying al patrimonio edilizio storico, il confronto – in termini di qualità e quantità di dati e informazioni – tra i procedimenti tradizionali di rilievo e restituzione grafica e quelli più evoluti, tecnologicamente e metodologicamente, di rilievo con laser-scanner e di modellazione in ambiente BIM, la proposta di un 'cultural heritage smart cataloging' del patrimonio storico sempre disponibile per essere interrogato, implementato e, soprattutto, impiegato per la progettazione degli interventi di recupero.

La tesi, pertanto, si articola in cinque capitoli. Nel primo si confrontano i processi progettuali tradizionali con quelli basati sul Building Information Modeling; si analizzano, inoltre, i rischi e i benefici nell'uso di questa metodologia portando alcuni esempi di progettazione e gestione di nuovi fabbricati. Nel secondo capitolo si evidenzia la diffusione del BIM in Italia e all'estero, ponendo particolare attenzione alle cause – di natura normativa, sociale ed economica – che hanno favorito l'assimilazione del BIM in alcuni Paesi piuttosto che in altri. Il terzo capitolo è dedicato alla descrizione dei software – o meglio, alla loro 'filosofia di funzionamento' – che consentono di gestire l'intero processo progettuale e il ciclo di vita degli edifici.

Nel quarto capitolo viene introdotto il BIM Surveying, ovvero l'applicazione del Building Information Modeling agli interventi sul costruito (sia esso di tipo industriale, residenziale, infrastrutturale, storico-monumentale) partendo dai dati ottenuti per mezzo di rilievi effettuati con tecnologia laser-scanner. Si analizza, quindi, lo stato dell'arte sull'argomento evidenziandone limiti e criticità. Nel quinto ed ultimo capitolo viene descritta e analizzata l'applicazione del BIM Surveying a due casi studio di riferimento, ossia due

manufatti appartenenti al patrimonio storico campano: il Padiglione Militare della ex Caserma 'Sacchi', a Caserta (della prima metà del XIX secolo), e il Castello di Francolise, in provincia di Caserta (risalente al XIII secolo).

Per effettuare le verifiche e i confronti necessari a validare gli obiettivi della fase sperimentale, i manufatti sono stati rilevati sia con tecniche di rilievo diretto che con laser-scanner, e i dati acquisiti sono stati successivamente elaborati sia in ambiente CAD che in ambiente BIM. Dalle analisi dei risultati ottenuti, più ampiamente decritti nelle conclusioni del presente lavoro, sono stati individuati i punti di forza e di debolezza del lavoro di ricerca e introdotti spunti di riflessione e possibili futuri sviluppi del tema trattato.

1. IL BUILDING INFORMATION MODELING - BIM

1.1 PREMESSE

Le tradizionali modalità del progettare si stanno rapidamente trasformando – o, in alcuni casi, si sono già del tutto trasformate – grazie al cambiamento degli scenari socio-culturali, ad una committenza sempre più esigente, alle nuove frontiere tecnologiche e alle rinnovate possibilità per il progetto architettonico, strutturale, impiantistico ed energetico. Se da un lato l'industria delle costruzioni sta attraversando un periodo di forte ridimensionamento dovuto ad uno stallo generale dell'economia che coinvolge quasi tutti i Paesi industrializzati, dall'altro tale fenomeno è uno dei promotori del rinnovamento dell'intera filiera del settore edile. La richiesta di interventi di alta qualità in tempi sempre più stretti e con budget molto ridotti, ha indotto tecnici, costruttori e concessionari a stabilire rapporti diversi, basati su un alto grado di specializzazione e sul rapido e corretto scambio di informazioni fra le parti coinvolte.

In uno scenario in continua e veloce trasformazione non si può più pensare ad un modo di progettare proprio del secolo scorso, quando un singolo gruppo di lavoro era in grado di gestire grandi progetti, forte di tempi a disposizione più lunghi e di condizioni economiche favorevoli. È indispensabile, oggi, lavorare in team dotati di figure specializzate in tutti i settori dell'AEC: non possono più esistere frontiere spaziali e temporali che rallentano il processo ideativo e costruttivo. I grandi studi di architettura si servono di strutturisti distanti migliaia di chilometri dalla loro sede, di impiantisti che parlano diverse lingue e di costruttori dotati di differenti know-how.

Comunicare (in termini tecnici) senza incomprensioni e con minori perdite di tempo porta a massimizzare la produttività, a minimizzare i costi e le interferenze e al tempo stesso a tenere alto il livello di qualità del progetto. Proprio in questi contesti sono nate le esigenze di rapportarsi in maniera diversa nei confronti dell'intero ciclo di vita di un fabbricato (dall'ideazione alla progettazione, dalla cantierizzazione alla manutenzione e gestione), di lavorare in equipe specializzate, di ridurre i problemi di interazione tra le va-

rie figure coinvolte, di produrre e modificare in tempo reale report, particolari tecnici, pre-dimensionamenti strutturali ed impiantistici, computi metrici, modelli virtuali realistici e così via. Per far fronte a tali esigenze, il mondo delle costruzioni (soprattutto nei Paesi anglosassoni e in altre realtà propense all'innovazione e al cambiamento) si è adeguato, da quasi due decenni, ad una nuova metodologia di gestione dell'intero processo edilizio basandosi sul Building Information Modeling.

Per un gioco di cause ed effetti, questa 'rivoluzione' progettuale è supportata (ed alimentata) dal mondo dell'informatica che, da ormai quasi quarant'anni, automatizza e, in certi casi, migliora molte procedure proprie sia del disegno tecnico che del calcolo (strutturale, impiantistico, energetico). La tecnologia digitale dedicata alla progettazione degli organismi edilizi ha conosciuto avanzamenti di notevole portata, permettendo di raggiungere mediante il Building Information Modeling quei traguardi che erano stati solo immaginati a partire dagli anni Settanta del secolo scorso⁴. Una delle ultime frontiere in tal senso è rappresentata dai software BIM che, permettendo effettivamente di attuare il nuovo metodo di lavoro, stanno cambiando (ma in molti casi già ci sono riusciti) i modi di progettare, di gestire le opere, di mantenerle e così via. I più recenti applicativi BIM per l'architettura e l'ingegneria hanno, infatti, consentito un notevole miglioramento del processo progettuale razionalizzando e facilitando l'integrazione tra le diverse competenze che entrano in gioco durante il suo sviluppo (progettisti, costruttori, imprese). Tutto ciò grazie alla possibilità di creare modelli tridimensionali parametrici del fabbricato dotati di tutte le informazioni di carattere fisico-meccanico, energetico, materico, economico, manutentivo, ecc.

Il modello infografico, in questo modo, non è solo una semplice prefigurazione virtuale, ma diventa un sistema manipolabile in grado di simulare il reale comportamento del fabbricato in condizioni di utilizzo, parallelamente al progredire della sua definizione.

⁴ Garagnani, S. *Semantic Building Information Modeling and high definition surveys for Cultural Heritage sites*, DisegnareCon, Dipartimento di Architettura dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Bologna, 2012, p. 297.

1.1 DEFINIZIONI

L'acronimo BIM, tradotto tal quale (modello di informazioni dell'edificio), potrebbe non definire in maniera chiara il vero significato che si cela dietro tale nome e risulta necessario citare i pionieri-ricercatori su queste tematiche.

Jerry Laiserin nella prefazione del "BIM Handbook. A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors" di Chuck Eastman (autore riconosciuto come uno dei maggiori esperti in materia) attribuisce ad Eastman stesso la paternità dell'acronimo, apparso per la prima volta in un suo articolo sull'A.I.A. Journal nel 1975. Eastman, allora docente alla Carnegie Mellon University, si riferisce al BIM come alla descrizione di un'attività (con il significato di modellazione informativa degli edifici) piuttosto che di un oggetto (modello informatico degli edifici): fin dall'inizio della sua storia l'attitudine del BIM non è mai stata quella di descrivere un programma informatico o un modello 3D, ma un'attività umana che oggi sta sempre più coinvolgendo ampi processi di cambiamento nelle costruzioni⁵.

Secondo Eastman, il *Building Information Modeling (BIM) is one of the most promising developments in the architecture, engineering, and construction (AEC) industries. With BIM technology, one or more accurate virtual models of a building are constructed digitally. They support design through its phases, allowing better analysis and control than manual processes. When completed, these computer generated models contain precise geometry and data needed to support the construction, fabrication, and procurement activities through which the building is realized*⁶ (il Building Information Modeling è uno degli sviluppi più promettenti nei settori dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni. Con la tecnologia BIM, vengono costruiti digitalmente uno o più modelli virtuali accurati di un edificio. Essi sostengono la progettazione du-

⁵ Garritano, F. et al. *op. cit.*, p.6.

⁶ Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. *BIM handbook. A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008, p. 1.

rante le sue fasi, permettendo una migliore analisi e un miglior controllo rispetto ai processi manuali. Una volta completati, questi modelli informatici sono caratterizzati da geometrie precise e dai dati necessari a supportare la costruzione, la fabbricazione e le forniture attraverso le quali l'edificio è realizzato).

Inoltre, il *Building Information Modeling [...] is a method that is based on a building model containing any information about the construction. In addition to the contents of the 3D object-based models, this is information such as specifications, building elements specifications, economy and programmes*⁷ (il Building Information Modeling è un metodo che si basa su un modello del fabbricato dotato di qualsiasi informazione sulla costruzione. Oltre ai contenuti dei modelli 3D object-based, si tratta di informazioni relative ai capitolati, alle specifiche tecniche degli elementi costruttivi, alle risorse e alla pianificazione.

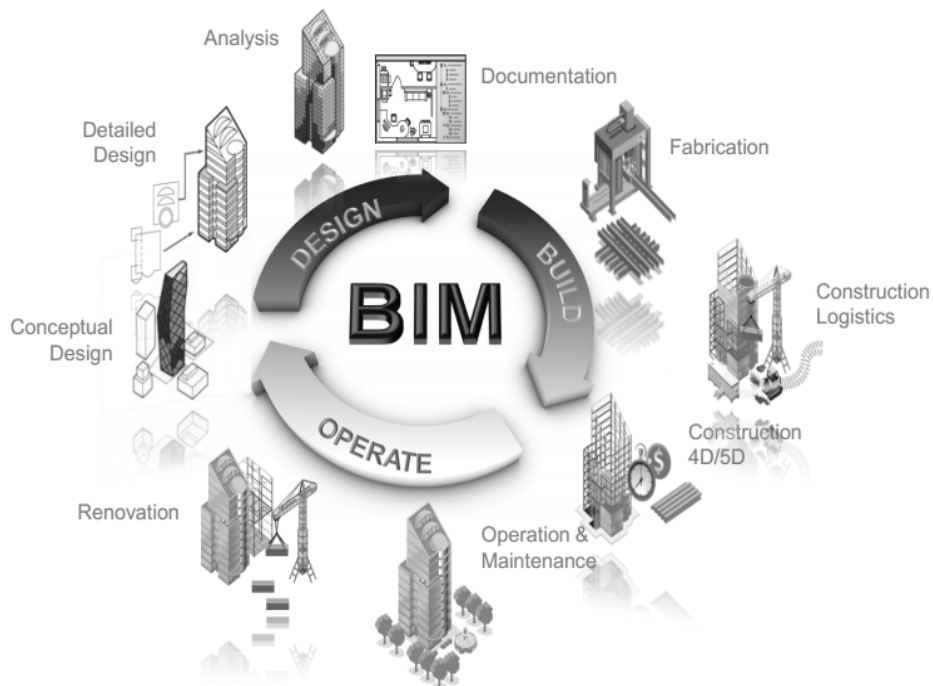


Fig. 1 Gestione del ciclo di vita di un edificio con la metodologia BIM

⁷ Digital Construction, *3D Working Method 2006*, bips, Ballerup, Danimarca, 2007, p. 12.

È giusto chiarire che alcuni studiosi e ricercatori, a seconda del contesto, utilizzano l'acronimo BIM riferendolo non solo alla modellazione (Modeling, quindi al metodo) ma anche al modello digitale (Model, ovvero all'oggetto informatico). Ad esempio, per il National Institute of Building Sciences (NIBS) *BIM is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such it serves as a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its lifecycle from inception onward. A basic premise of BIM is collaboration by different stakeholders at different phases of the lifecycle of a facility to insert, extract, update, or modify information in the BIM to support and reflect the roles of that stakeholder. The BIM is a shared digital representation founded on open standards for interoperability*⁸ (il BIM è la rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un fabbricato. Come tale, esso funge da risorsa di informazioni per la conoscenza condivisa dell'edificio formando una base affidabile per le decisioni durante il suo intero ciclo di vita, dalla nascita in poi. Una premessa di base del BIM è la collaborazione dei diversi attori nelle varie fasi del ciclo di vita del fabbricato per inserire, estrarre, aggiornare o modificare informazioni nel BIM a sostegno dei ruoli di quegli attori. Il BIM è una rappresentazione digitale condivisa basata su standard liberi per l'interoperabilità).

In questo testo l'acronimo BIM è impiegato prevalentemente nelle prime due accezioni; qualora si faccia riferimento al modello, allora si ritroverà in lettere minuscole (bim).

1.3 PROCESSI PROGETTUALI A CONFRONTO

Al giorno d'oggi, la maggior parte dei processi edilizi risulta frammentato e legato fortemente a documenti cartacei contenenti le informazioni di natura tecnica, amministrativa e contrattuale. La comunicazione tra i vari soggetti coinvolti nella progettazione, nella realizzazione e nella gestione dell'opera

⁸ National Institute of Building Sciences, *National Building Information Model Standard*, Washington, USA, 2007, p. 21.

(grande o piccola che sia, pubblica o privata) avviene per mezzo di tali documenti che, contenendo inevitabilmente anche solo piccoli errori, omissioni e incongruenze, diventano spesso causa di incomprensioni tra i vari attori del processo edilizio, di ri-progettazioni parziali o di modifiche in itinere durante la costruzione con conseguenti ritardi, costi imprevisti ed azioni legali.

Non esiste quasi mai un protocollo di scambio dati condiviso da tutti gli attori, né un metodo di lavoro che integri in maniera efficiente le varie competenze in campo. Le interazioni tra architetti, ingegneri, impiantisti, costruttori, committenti e quant'altri avvengono in tempi dilatati, in modo confusionario e, spesso, le variazioni apportare non vengono condivise in tempo reale, costringendo gli altri soggetti coinvolti a ritornare più volte su un calcolo o un grafico ormai superati. Tra i problemi più comuni che si riscontrano durante la fase di progettazione vi sono il tempo considerevole e le spese necessarie a generare informazioni – anche solo preliminari – circa le valutazioni economiche (stima dei costi di costruzione), energetiche (scelta di materiali e soluzioni tecniche adeguate), strutturali (pre-dimensionamenti e particolari costruttivi) e così via. Normalmente queste analisi (di value engineering per le grandi commesse) sono condotte quando il progetto architettonico si trova già in una fase avanzata, quando cioè è tardi per fare importanti cambiamenti che, altrimenti, comprometterebbero buona parte del lavoro svolto.

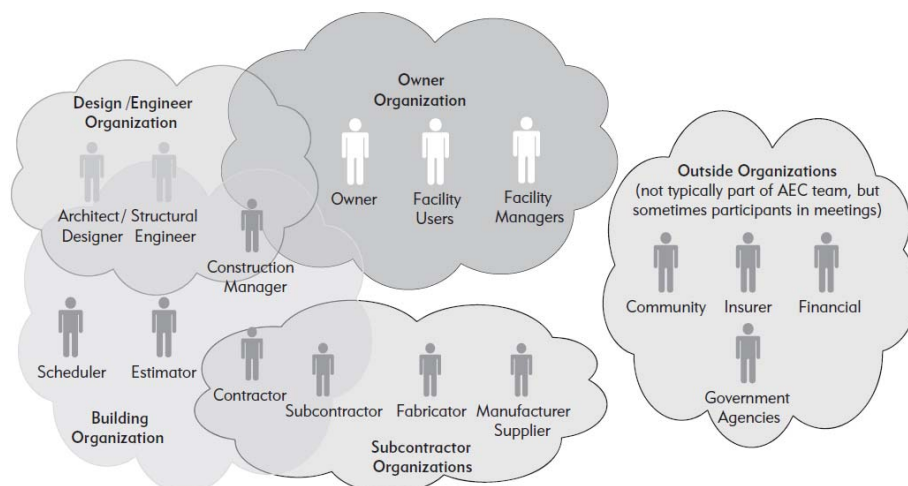


Fig. 2 Soggetti coinvolti in un team di progettazione

Nel tempo, diversi sono stati gli sforzi profusi sia dai tecnici che dalle società di costruzione per affrontare tali problemi; si pensi, ad esempio, alla condivisione in real time dei progetti su piattaforme web (che ha ridotto i tempi di scambio dati tra i soggetti coinvolti) o all'implementazione di software per la modellazione architettonica e strutturale 3D (che ha consentito di ottenere un controllo maggiore sia sugli aspetti architettonici – una maggiore consapevolezza dell'architetto sulle sue scelte – che su quelli strutturali ed impiantistici – la visualizzazione tridimensionale permette di gestire in maniera migliore eventuali interferenze).

Sebbene questi metodi – o tecnologie – abbiano ottimizzato alcuni aspetti del processo edilizio, hanno fatto poco però per ridurre la gravità e la frequenza dei conflitti generati dalla mole di documenti cartacei o dai loro equivalenti elettronici.

Alcune statistiche nord-americane hanno analizzato la progettazione e la realizzazione di opere superiori ai 10 milioni di dollari, in termini (medi) di persone coinvolte e di documenti prodotti, mettendo in luce, con i numeri riportati di seguito, la non semplice gestione del processo edilizio⁹:

- 420 imprese (compresi tutti i fornitori e i sub-appaltatori);
- 850 persone individuali;
- 50 tipologie di documenti;
- 56.000 pagine di documenti (compreso minute, bozze e copie);
- 25 contenitori da archivio;
- 6 alberi di 50 centimetri di diametro, 20 anni di età e 15 metri di altezza per produrre il volume di carta impiegato;
- 3 Gigabyte di memoria di massa per archiviare le informazioni digitali.

Il National Institute of Standards and Technology (NIST), inoltre, nel 2002 ha condotto uno studio sui costi aggiuntivi dovuti all'inadeguata intero-

⁹ Hendrickson, C. *Project Management for Construction. Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders*, Seconda Edizione preparata per il web, Version 2.2, 2008, par. 14.1, Url: <http://pmbook.ce.cmu.edu>.

perabilità tra i vari attori del processo edilizio, focalizzando l'attenzione sullo scambio e la gestione delle informazioni. Nell'industria delle costruzioni l'incompatibilità tra sistemi spesso impedisce ai membri del team di progetto di condividere rapidamente e con precisione le informazioni.

Lo studio del NIST passa in rassegna edifici commerciali, industriali e istituzionali, sia di nuova costruzione che in atto di realizzazione. I risultati (Tabb. 1-2) hanno mostrato che su un totale di risorse economiche investite per la progettazione, la realizzazione e la gestione delle opere citate pari a circa 865 miliardi di dollari, si sono riscontrate perdite pari a 15,8 miliardi (il 2% circa) per l'inefficienza dell'intera filiera.

Tab. 1 Costi dovuti alla inadeguata interoperabilità nel settore AEC statunitense

Architects and Engineers^a		
NAICS 54131	Architectural services	16,988.4
NAICS 54133	Engineering services	88,180.7
	Subtotal	105,169.0
	Interoperability cost estimate (\$)	1,169.8
	Interoperability cost estimate (%)	1.11%
General Contractors^a		
NAICS 2333	Nonresidential building construction	209,269.2
	Interoperability cost estimate (\$)	1,801.6
	Interoperability cost estimate (%)	0.86%
Specialty Fabricators and Suppliers^a		
NAICS 2351	Plumbing, heating, and air conditioning contractors	88,427.4
NAICS 2353	Electrical contractors	64,915.1
NAICS 23591	Structural Steel Erection contractors	8,152.7
NAICS 23592	Glass and Glazing contractors	4,045.5
NAICS 23594	Wrecking & Demolition contractors	2,304.0
NAICS 23595	Building equipment & other machinery installation contractors	9,342.9
	Subtotal	177,187.7
	Interoperability cost estimate (\$)	2,204.6
	Interoperability cost estimate (%)	1.24%
Owners and Operators^b		
	Annual value of construction put in place, 2002	374,118.0
	Interoperability cost estimate (\$)	10,648.0
	Interoperability cost estimate (%)	2.84%

^aU.S. Census Bureau. 2004a. "1997 Economic Census: Summary Statistics for United States 1997 (NAICS Basis). <http://www.census.gov/epcd/ec97/us/US000.HTM>. As obtained on April 1, 2004.

^bU.S. Census Bureau. 2004b. "Annual Value of Construction Set In Place." As released on April 1, 2004 at <http://www.census.gov/const/C30/Total.pdf>.

Tab. 2 Costi dovuti all'inadeguata interoperabilità nel settore AEC statunitense durante l'intero ciclo di vita dei fabbricati

Stakeholder Group	Planning, Engineering, and Design Phase	Construction Phase	Operations and Maintenance Phase	Total
Architects and Engineers	1,007.2	147.0	15.7	1,169.8
General Contractors	485.9	1,265.3	50.4	1,801.6
Specialty Fabricators and Suppliers	442.4	1,762.2	—	2,204.6
Owners and Operators	722.8	898.0	9,027.2	10,648.0
Total	2,658.3	4,072.4	9,093.3	15,824.0

Questi dati sono stati calcolati confrontando le attività in corso e i costi con scenari ipotetici in cui si considera un flusso continuo di informazioni senza immissione di dati ridondanti¹⁰. Le stime sono ipotetiche, il che è dovuto alla impossibilità di fornire dati accurati. Sono, tuttavia, significativi e degni di seria considerazione gli sforzi fatti per ridurli o evitarli il più possibile¹¹.

Sulla base degli scenari descritti e, come analizzato nel capitolo successivo, grazie anche ad un terreno 'fertile' dal punto di vista normativo, a partire dai Paesi anglosassoni si è diffuso il Building Information Modeling, una nuova metodologia di lavoro in grado di creare forti sinergie e interazioni tra i vari soggetti coinvolti in un progetto, grazie alla condivisione sia di un unico 'linguaggio' di scambio dati (siano essi grafici, computi, calcoli e così via) sia dello stesso modello infografico 'intelligente e parametrico' (il bim).

Il Building Information Modeling, quindi, rappresenta come attività un insieme di metodologie e processi volti a generare, modificare, gestire e comunicare ai diversi attori del processo edilizio (committenti, ingegneri, architetti, impiantisti, utenti, ecc.) tutte le caratteristiche di un progetto, il cui modello informatico è unico, può essere creato in tempi e in luoghi diversi ed è

¹⁰ Gallaher, M.; O'Connor, A.; Dettbarn, J.; Gilday, L. *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry*, National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg, Maryland, 2004, p. 108.

¹¹ Eastman, C. et al. *op. cit.*, p. 15.

implementabile per diversi scopi grazie ad un database che si aggiorna automaticamente in real time e che contiene le informazioni aggiornate. Il tutto ha l'obiettivo, come già detto, di garantire la qualità del processo, riducendo drasticamente perdite di dati, incomprensioni nello scambio di informazioni e operazioni ridondanti.

Tale attività è possibile, quindi, solo grazie alla creazione condivisa di un building information model, ovvero di una inequivocabile rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un manufatto¹².

Il modello informatico è costituito da oggetti tridimensionali 'intelligenti' (muri, porte, finestre, pilastri, scale, tetti, ecc.) legati tra di loro attraverso regole associative (l'oggetto 'porta' può essere collocato solo all'interno dell'oggetto 'muro' e non, ad esempio, in corrispondenza dell'oggetto 'tetto') e dotati di informazioni sulle proprietà fisiche, meccaniche e logistiche (colore, dimensioni, peso, trasmittanza termica, resistenza meccanica, costo, tempi di messa in opera, manutenzione e così via).

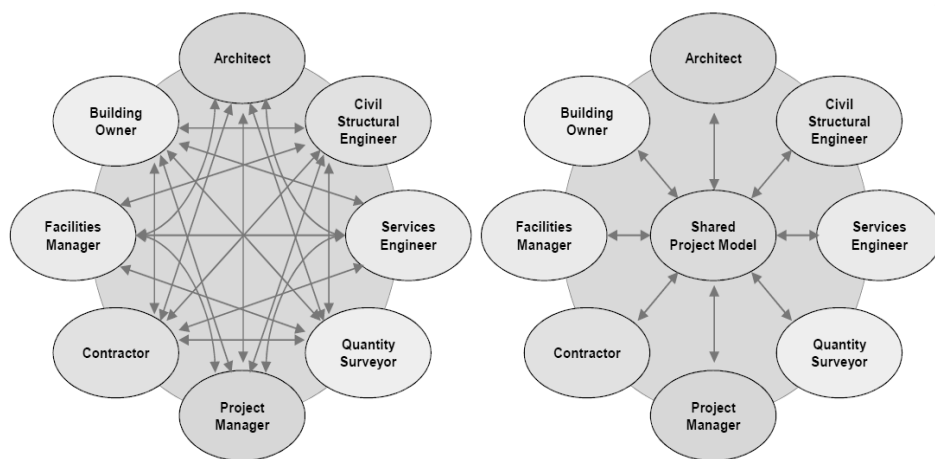


Fig. 3 Scambio di dati tra gli attori del processo edilizio: a sinistra in ambito tradizionale, a destra in ambito BIM

¹² Osello, A. *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, p. 35.

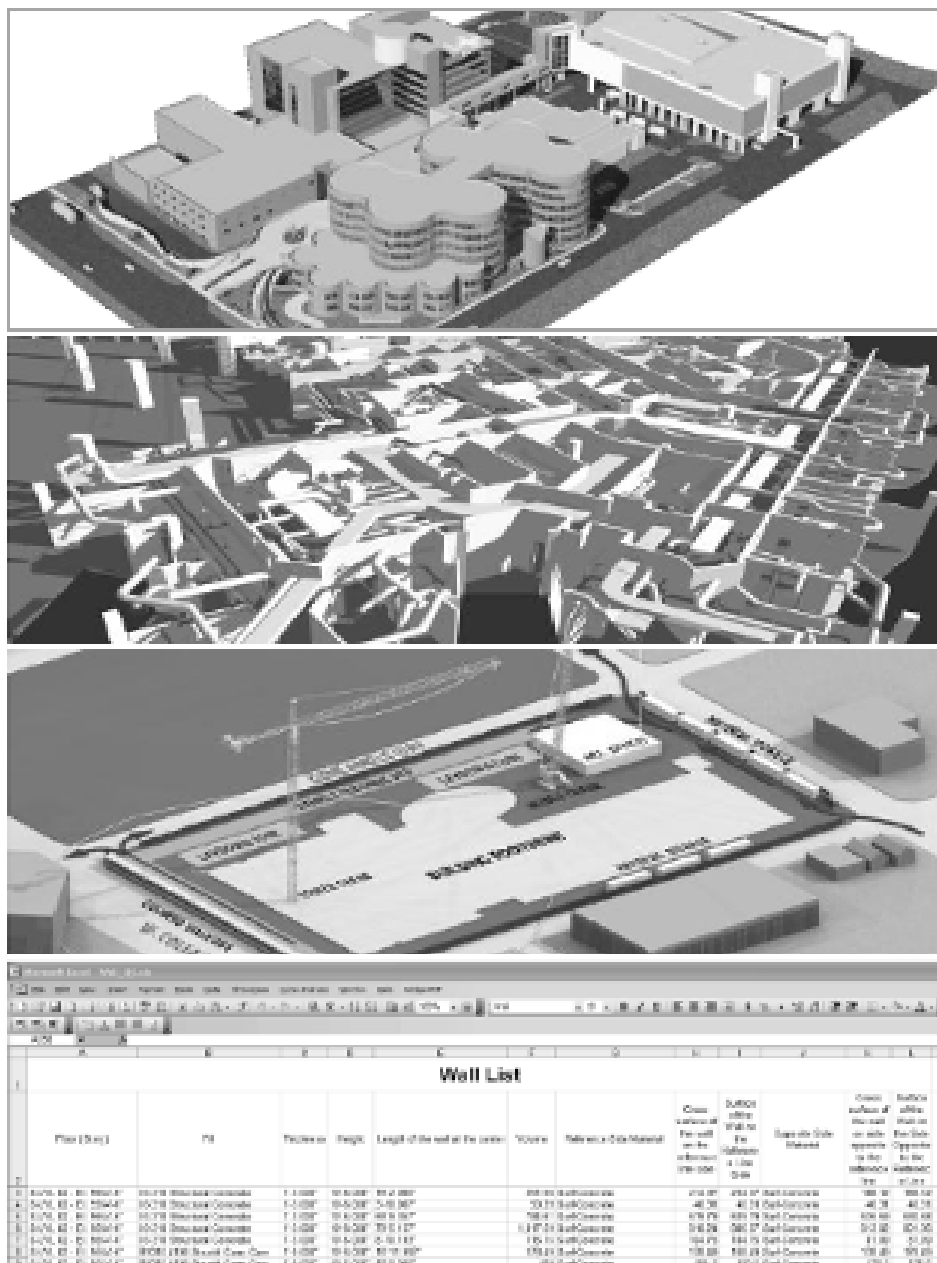


Fig. 4 Le differenti componenti di un building information model: (dall'alto) modello architettonico, modello strutturale ed impiantistico integrato, modello per la programmazione logistica del cantiere, computo delle quantità

Ciò consente di simulare già in fase di progettazione preliminare e in itinere i comportamenti dell'edificio dal punto di vista energetico, impiantistico, strutturale, economico, costruttivo, manutentivo e di apportare modifiche e integrazioni in tempo reale e in qualsiasi fase della progettazione da parte di figure tecniche specialistiche differenti, impiegando un unico modello.

È importante tenere a mente, però, che il BIM non è solo un cambiamento tecnologico ma soprattutto un cambiamento di processo e di organizzazione aziendale degli studi tecnici e delle imprese, che dovranno dotarsi di figure specializzate nella gestione del processo stesso (i BIM Manager), oltre che di strumenti software ed hardware in grado di gestire i nuovi database.

“Il BIM non è una panacea che risolve tutti i problemi del nostro settore, non è una pietra filosofale che trasforma il piombo in oro, e non è un pacchetto software che si può acquistare”¹³.

1.4 BENEFICI E RISCHI NELL'USO DEL BIM

Così come accade ogni volta che si adotta una innovazione tecnologica, organizzativa, di processo, normativa, anche per il Building Information Modeling occorre effettuare attente valutazioni di tipo costi/benefici in quanto il passaggio alla progettazione 'intelligente' non è indolore e non si limita solamente (come molti pensano) ad un aggiornamento di tipo software. Il BIM è soprattutto un nuovo modo di approcciare al progetto, alla realizzazione e alla gestione dell'opera.

La curva di MacLeamy (Fig. 5) mostra che i maggiori sforzi progettuali profusi impiegando il processo progettuale tradizionale (curva 3) si concentrano durante la fase di progettazione definitiva, allorquando diventa fondamentale la produzione della documentazione tecnica di carattere energetica, strutturale, computazionale e così via. In questo modo, però, risultano

¹³ Kiviniemi, A. *Where BIM goes; challenges and promises for the Architecture, Engineering and Construction Industry*, in: Osello A, *op. cit.*, p. 260.

elevati i costi dovuti alle inevitabili varianti al progetto, seppur piccole (si pensi al tempo impiegato per modificare tutti i disegni tecnici o i report e le tabelle computazionali) che si riversano anche sulle fasi di costruzione dell'opera (curva 2).

Al contrario, l'adozione della metodologia BIM nell'intero processo edilizio (curva 4) prevede un impegno maggiore, in termini di risorse umane ed economiche (curva 1), durante la fase preliminare della progettazione. Ciò è dovuto al fatto che i progettisti devono impostare il lavoro in maniera da ottimizzare le future procedure di calcolo e produzione della documentazione tecnica, avendo già chiari alcuni aspetti del progetto, come quelli tecnologici (il sistema dei tamponamenti, delle chiusure, delle strutture, ad esempio), quelli prestazionali (come le caratteristiche energetiche dei materiali), quelli economici (i costi per unità di misura degli elementi).

Una volta definiti tali parametri, qualsiasi componente del team può, in qualunque momento e in maniera condivisa, apportare modifiche, anche sostanziali, al progetto (e quindi al modello bim) in quanto queste si trasferiranno a cascata su tutti gli aspetti ad esso connessi.

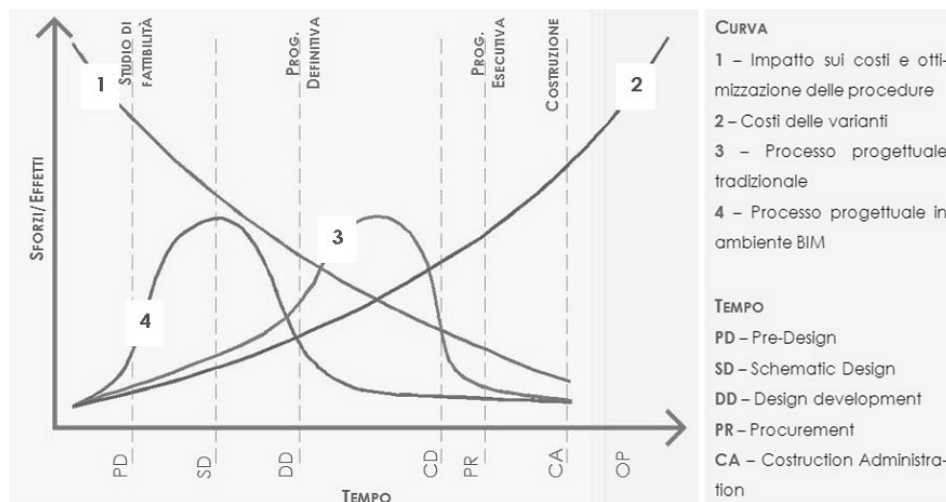


Fig. 5 Curva di MacLeamy

Il cuore del processo, in questo caso, tecnologico (come approfondito meglio nel capitolo 3) risiede nel database informatico che si aggiorna automaticamente in contemporanea con tutte le informazioni di input fornite al modello bim. I progettisti, costruttori e gestori dell'opera durante le successive fasi di progettazione definitiva ed esecutiva, realizzazione e gestione del fabbricato possono in qualsiasi momento interrogare il database e ricevere le informazioni di cui hanno bisogno, riducendo al minimo l'uso di documenti cartacei (siano essi grafici o di testo), i tempi e le incomprensioni. Tutto ciò è, naturalmente, possibile solo se tutti gli attori della filiera 'parlano' lo stesso linguaggio, sia metodologico che tecnologico.

Pertanto, sfruttare un modello informatico tridimensionale parametrico 'intelligente' del fabbricato per il processo edilizio significa avere immediati benefici come, ad esempio: la visualizzazione 3D del progetto; l'associatività automatica delle modifiche a tutti gli elaborati; l'immediatezza del passaggio di scala grafica; il controllo sui conflitti, sulle collisioni e sulle interferenze tra i vari aspetti del progetto (architettonico, tecnologico, strutturale, impiantistico); le analisi preliminari di tipo computazionale, economico, strutturale, energetico; la gestione delle sequenze costruttive; la programmazione prima e l'organizzazione poi del cantiere; la manutenzione dell'opera.

Inoltre, il Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE) dell'Università di Stanford ha condotto uno studio sui benefici dell'impiego del BIM nella progettazione¹⁴. Analizzando 32 casi studio, i dati ottenuti dimostrano una riduzione del 40% del numero di varianti, un'accuratezza delle stime dei costi del 3%, un abbattimento dei tempi per redigere computi metrici pari all'80%, un risparmio fino al 10% del valore del contratto attraverso la verifica delle interferenze, una contrazione del 7% dei tempi per redigere il progetto.

¹⁴ Gilligan, B.; Kunz, J. *VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity*, CIFE Technical Report, Stanford University, California, USA, 2007.

Ovviamente anche il Building Information Modeling presenta i suoi rischi, a partire dalla spesa iniziale per la formazione dei progettisti, per l'aggiornamento hardware dei computer e per l'acquisto delle licenze software. Non solo. Come si evince dalla Fig. 6, durante il periodo di variazione dei processi e dell'organizzazione dello studio, è inevitabile una perdita di produttività, sia per aver sottratto personale alle attività in corso, sia per aver intrapreso un nuovo metodo di approccio al progetto che richiede tempo per essere assimilato e messo in pratica correttamente.

È attuale, inoltre, il dibattito normativo sulla proprietà intellettuale dei dati BIM e relativi copyright¹⁵. Molti Paesi, infatti, hanno introdotto l'uso del BIM all'interno delle normative edilizie e dei contratti d'appalto. Ciò comporta che il modello bim sia depositato – come la documentazione tradizionale – e sia utilizzabile anche da parte di altre società per la manutenzione o per la gestione economica del fabbricato.

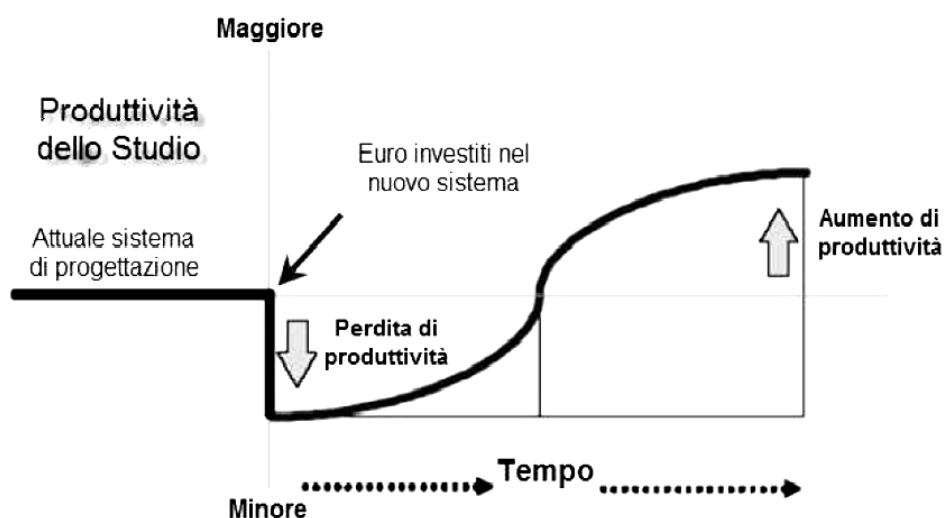


Fig. 6 Ritorno dell'investimento a seguito dell'adozione del BIM

¹⁵ Thomson, D. *e-Construction: Don't Get Soaked by the Next Wave*, 2001. URL: http://www.fwhtlaw.com/articles/e-construction_dont_get_soaked.cfm.

Si pensi, poi, al rischio di uscire dal mercato per le piccole e medie imprese che gravitano nel mondo delle costruzioni e che non si adeguano (o non possono farlo per ragioni economiche) alla metodologia BIM. Uno scenario, quest'ultimo, non troppo lontano anche per l'Italia che nel giro di pochi anni, se vorrà esportare il suo importante know-how in Europa, dovrà confrontarsi con realtà che già hanno adottato nei concorsi di progettazione, negli appalti integrati, nei contratti d'appalto e nella pratica professionale il Building Information Modeling.

1.5 CASO STUDIO DI PROGETTAZIONE BIM

Si presenta di seguito il caso studio di un edificio interamente progettato con metodologia BIM che può chiarire alcuni aspetti del tema trattato. Si tratta del Denver Health Science Center Research Complex II dell'Università del Colorado, una struttura di 11 piani e 50.000 metri quadri, costata 201 milioni di dollari, progettata in 32 mesi dal 2003 al 2005 (con due mesi di anticipo rispetto al contratto) e realizzata in meno di 6 anni.

Gli obiettivi del team di progetto nell'uso del BIM erano quelli di migliorare il livello di soddisfazione del committente, di incrementare la produttività, di ottimizzare i tempi di progettazione e di ricercare una effettiva collaborazione tra i soggetti coinvolti dall'inizio della progettazione alla fine della costruzione dell'edificio. Il tutto si è basato sul cosiddetto Virtual Design and Construction (VDC), un processo collaborativo che incorpora sia il progetto che la costruzione attraverso l'uso dei building information models al fine di creare un prototipo di edificio virtuale prima della realizzazione.

Partendo da un modello informatico architettonico di base, questo si è man mano arricchito delle componenti tecnologiche, strutturali ed impiantistiche (MEP design). Durante i pre-dimensionamenti e gli aggiornamenti al bim, era possibile effettuare analisi immediate sui costi di costruzione ma soprattutto di evidenziare in maniera agevole le inevitabili interferenze tra le varie componenti dell'edificio (il cosiddetto clash detection).



Fig. 7 A sinistra uno spaccato del bim contenete gli aspetti architettonici, strutturali ed impiantistici. A destra l'edificio realizzato

Nella fase successiva all'aggiudicazione dell'appalto, il general contractor si è avvalso del modello bim per arricchirlo della quarta dimensione – il tempo – al fine di studiare l'evoluzione del cantiere durante la realizzazione del fabbricato in modo da ottimizzare tempi e risorse.

Allo stesso modo, le ditte produttrici delle carpenterie metalliche, degli impianti, del sistema di involucro hanno attinto dal modello 'intelligente' tutte le informazioni di carattere geometrico, funzionale e prestazionale per ridurre al massimo il rischio di imprecisioni di fabbricazione e ritardi nella fornitura degli elementi. L'esperienza progettuale e costruttiva del Denver Health Science Center Research Complex II è stata messa a confronto con quella tradizionale servita a realizzare, qualche anno prima, il Complex I, un edificio avente le stesse dimensioni, funzioni e budget del Complex II.

Tra i dati più significativi, si è riscontrato un abbattimento del RFI (Request For Information) pari al 74% durante la fase di realizzazione delle fondazioni e del 47% durante il montaggio della carpenteria in acciaio. C'è stata, inoltre, una riduzione del 32% delle varianti in corso d'opera e del 50% (in termini temporali) per la produzione e l'installazione degli impianti meccanici.

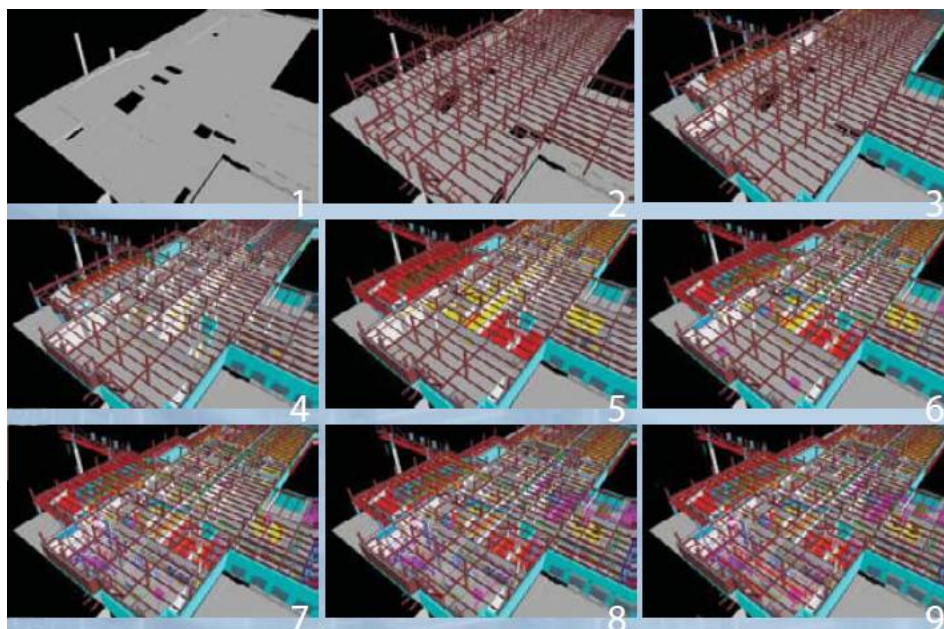


Fig. 8 Analisi delle fasi costruttive del piano interrato e clash detection

Mentre per il Complex I gli interventi di manutenzione si basano su una mole importante di dati cartacei (tavole grafiche bidimensionali e relazioni tecniche), per il Complex II la gestione è fondata unicamente sui modelli tridimensionali parametrici completi di tutte le informazioni tecniche.

2. STATO DELL'ARTE SULLA DIFFUSIONE DEL BIM

2.1 PREMESSE

Il Building Information Modeling, seppur visto in molte nazioni ancora con diffidenza, per altre sta diventando – in molti casi lo è già diventato – il punto di riferimento dell'industria delle costruzioni, sia per ottimizzare il processo dal punto di vista qualitativo e quantitativo, sia per cogliere una grande occasione di rilancio economico. Da ormai più di dieci anni enti pubblici e privati, Università, associazioni di professionisti e di imprese investono non trascurabili risorse nella divulgazione, nella sensibilizzazione e nella formazione degli attori del processo edilizio (dai progettisti, alle pubbliche amministrazioni, dai produttori ai costruttori, dai proprietari ai gestori) sul tema.

In alcune realtà particolarmente dinamiche, inoltre, si sono ottenuti dei risultati talmente convincenti da apportare addirittura modifiche legislative al fine di introdurre il BIM nella filiera delle costruzioni. L'Italia sta conducendo i suoi primi timidi passi verso questa innovazione, innanzitutto di metodo, ma le eccellenze europee in materia di BIM sono rappresentate dai Paesi Scandinavi e dal Regno Unito.

2.2 I PAESI ALL'AVANGUARDIA

La Finlandia è uno dei primi Paesi europei a sperimentare diffusamente il BIM per le grandi opere pubbliche. L'ente governativo che si occupa di queste tematiche già dal 2001 è la Senate Properties che, di recente, ha pubblicato la serie Common BIM Requirements 2012 (Fig. 9), risultato di un ampio progetto di ricerca sul tema del Building Information Modeling, fortemente richiesto dalle associazioni di imprenditori e produttori di materiali edili per standardizzare i processi progettuali e, soprattutto, le metodologie di scambio dati tra i vari interlocutori coinvolti in un progetto.

Già da diversi anni in Norvegia il BIM viene utilizzato per l'intero ciclo di vita degli edifici pubblici. Grazie alla spinta propulsiva del Norwegian Directorate of Public Construction and Property Management, la diffusione e l'utilizzo della metodologia standardizzata ha raggiunto livelli altissimi. Al punto che, a partire dal 2010, il Governo norvegese richiede esclusivamente la progettazione e la gestione dei manufatti pubblici con software parametrici 'open BIM' (ovvero programmi open source).

Ciò è stato possibile anche grazie ad una intensa opera di sensibilizzazione sull'argomento che ha portato alla pubblicazione, tra le altre cose, del Statsbygg BIM Manual (Fig.9) diventato un punto di riferimento per enti e progettisti che vogliono – e devono – attenersi agli standard BIM dettati dall'ente pubblico di gestione del patrimonio edilizio. L'approccio fornito dal manuale norvegese si basa su tutti i livelli di progettazione al fine di ottimizzare il flusso di informazioni tra i progettisti, i committenti, i costruttori e le pubbliche amministrazioni.

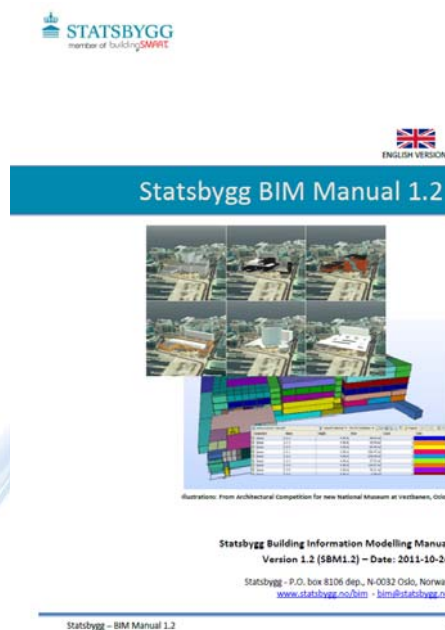
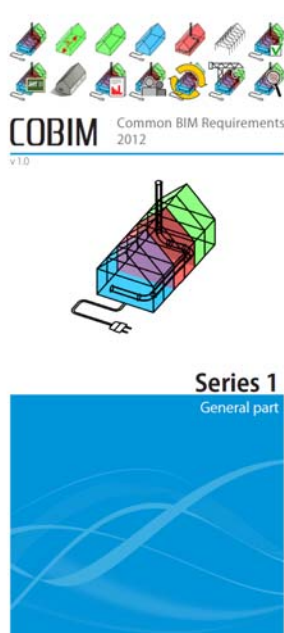


Fig. 9 Linee guida sul BIM della Finlandia (a sinistra) e della Norvegia (a destra)

In Danimarca il primo serio tentativo di avvicinamento alla realtà BIM risale già al 2006, quando sono stati pubblicati il 3D Working Method e il 3D CAD Manual riguardanti le modalità di creazione, interscambio e riutilizzo dei modelli tridimensionali nelle diverse fasi progettuali. Un ulteriore contributo alla diffusione della metodologia di lavoro BIM è arrivato dai tre enti pubblici proprietari di immobili, la Palaces and Properties Agency, la Danish University e la Defence Construction Service, che hanno imposto, per il facility management dei loro beni nonché per la progettazione e la realizzazione dei nuovi edifici, l'approccio BIM, condizionando di riflesso l'intero mercato immobiliare.

In Europa, più di ogni altro Paese, è il Regno Unito ad aver varato uno dei più densi programmi di interventi sull'organizzazione e sulla gestione dell'intera filiera delle costruzioni. L'obiettivo è quello di ottenere un significativo risparmio di risorse economiche (stimato nell'ordine del 20%¹⁶), accompagnato sia dalla maggiore qualità dei prodotti che dei servizi generati dal settore delle costruzioni e dai settori afferenti. Il documento programmatico che fissa tali scopi è il Government Construction Strategy, pubblicato nel Maggio del 2011 dal Cabinet Office del governo. Uno degli strumenti individuati per pervenire agli obiettivi prefissati è rappresentato dal Building Information Modeling. Per incoraggiare l'industria delle costruzioni a partecipare a questo notevole sforzo di cambiamento, il Regno Unito ha stilato un denso programma di 'conversione' alla nuova metodologia spalmato su 5 anni, che dovrà portare l'UK ad adottare in maniera definitiva il BIM entro il 2016 per tutti i lavori finanziati con risorse pubbliche.

Tra i vari enti sorti per sensibilizzare la filiera delle costruzioni sul tema del BIM, sicuramente il National Building Specification (NBS) è uno dei più attivi. In stretta sinergia con il Royal Institute of British Architects, il NBS sta lavorando per migliorare l'interoperabilità tra costruttori, imprese e progettisti. Una delle iniziative promosse dall'ente riguarda l'aggiornamento continuo di

¹⁶ Cabinet Office of the UK Government, *Government Construction Strategy*, Maggio 2011, p.3. URL: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61152/Government-Construction-Strategy_0.pdf.

una banca dati di oggetti bim open source (la National BIM Library) per l'AEC, accessibile gratuitamente da tutti i professionisti del settore edile. La National BIM Library contiene migliaia di modelli informatici 'intelligenti' (finestre, muri, elementi strutturali, caldaie, ecc.) condivisi dalle aziende produttrici che da un lato pubblicizzano i loro prodotti e dall'altro agevolano il lavoro dei progettisti, in quanto gli oggetti bim sono caratterizzati da tutte le informazioni di natura tecnica necessarie alle valutazioni economiche, alle analisi strutturali o energetiche, alle valutazioni impiantistiche e così via.

Oltre Oceano, gli Stati Uniti d'America rappresentano il punto di riferimento nel settore, sia per quanto riguarda la ricerca – teorica ed applicata – sia per lo stato di consolidamento nella pratica professionale. Da più di dieci anni diverse organizzazioni governative e private sono impegnate nella diffusione della nuova metodologia BIM grazie alla redazione di linee guida e standard. Si citano, ad esempio, la General Services Administration (GSA), che dal 2003 aggiorna periodicamente la BIM Guide For Spatial Program Validation, e il National Institute of Building Sciences (NIBS), che ha messo a punto il National Building Information Modeling Standard. L'obiettivo è quello di migliorare il processo di pianificazione, progettazione, costruzione e manutenzione utilizzando un modello informativo standardizzato basato sulla leggibilità dei dati per ogni manufatto, nuovo o vecchio, contenente tutte le informazioni create e raccolte lungo l'intero ciclo di vita del manufatto stesso in un formato utilizzabile da tutti¹⁷.

A completare la lista dei Paesi anglosassoni – oltre al Canada che ha già pubblicato l'Environmental Scan to BIM Tools and Standards grazie al lavoro del National Research Council – vi è l'Australia, dove operano nel settore BIM diversi enti tra cui spicca il National Specification System (NATSPEC). L'organizzazione, senza fini di lucro, è gestita da progettisti, costruttori e proprietari di immobili che stanno incoraggiando, anche per mezzo di due importanti documenti sul tema (la National BIM Guide e il BIM Management Plan

¹⁷ Osello, A. *op. cit.*, p. 79.

Template), gli altri soggetti coinvolti nel mondo delle costruzioni ad adottare il BIM per i propri processi progettuali.

Nell'ambito di questo sintetico quadro dello stato di diffusione del BIM nel mondo, occorre citare anche Paesi in continua evoluzione nel mondo delle costruzioni quali gli Emirati Arabi, l'India e Singapore che richiedono sempre maggiori competenze di BIM managers per uniformarsi, nel più breve tempo possibile, alle realtà maggiormente avanzate nel settore.

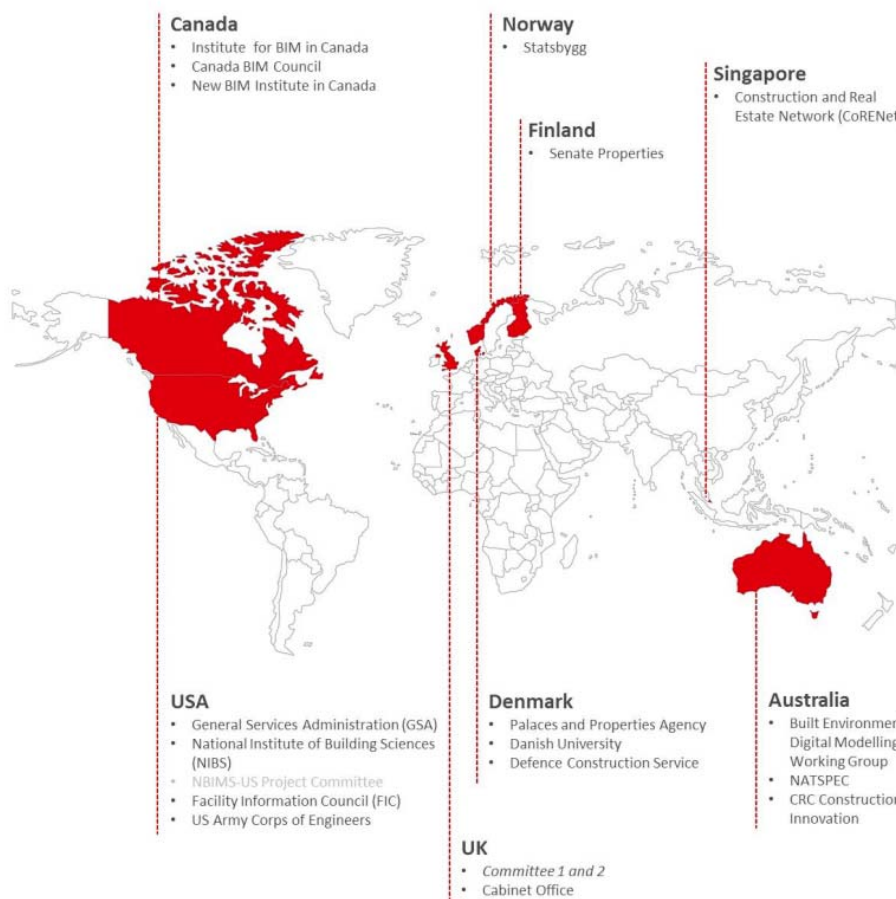


Fig. 10 I principali Enti coinvolti nella diffusione del Building Information Modeling

2.3 ALCUNE RAGIONI DELLA DIFFERENTE DIFFUSIONE

Come evidenziato nel paragrafo precedente, le realtà maggiormente sensibili al mutamento metodologico, tecnologico e normativo in materia di Building Information Modeling sono soprattutto i Paesi anglosassoni (Stati Uniti e Regno Unito in testa) che, già da diversi anni, hanno apportato notevoli cambiamenti al processo edilizio, riscontrando benefici considerevoli sia nel breve che nel medio periodo.

In via generale, le ragioni di tali orientamenti possono essere ricercate nelle sfere culturali, sociali, politiche ed economiche che caratterizzano quei Paesi rispetto ad altri che, come l'Italia, si mostrano più prudenti nei confronti delle innovazioni, specialmente nel settore edilizio. Basti pensare che è pratica comune nei paesi anglosassoni – e non solo – ricorrere frequentemente alla demolizione e ricostruzione degli edifici considerati obsoleti anche solo dopo pochi decenni dalla loro realizzazione; risultano maggiori gli investimenti nelle opere strategiche ed infrastrutturali; sono diversi i rapporti che si instaurano tra le amministrazioni e le imprese edili durante i lavori pubblici; è differente anche il sistema burocratico. Tutto ciò determina un dinamismo più accentuato sia nelle ricerche teoriche applicate al mondo delle costruzioni (fondamentali per l'evoluzione dei contesti normativi) sia nei cambiamenti di metodo e tecnologici nel settore AEC.

Probabilmente, però, i fattori che più influenzano l'aggiornamento, l'evoluzione e il mutamento della filiera delle costruzioni nei Paesi anglosassoni rispetto agli altri sono rappresentati dai modelli organizzativi adottati nel processo edilizio, strettamente dipendenti dalle relazioni che realmente si stabiliscono tra committenti, progettisti, imprese e gestori e dal grado di flessibilità normativo vigente.

In questo paragrafo si trattano, pertanto, i modelli organizzativi propri dei Paesi anglosassoni analizzando differenze e criticità rispetto ai modelli adottati in Italia. In questo modo si perviene ad un primo risultato funzionale alla ricerca: individuare le ragioni di un così tardivo approccio al Building Information Modeling da parte dell'Italia rispetto ad altre realtà avanzate.

I modelli organizzativi individuano i differenti modi con cui può essere gestito, dal punto di vista organizzativo e di controllo, il processo edilizio. È pertanto evidente che secondo le condizioni di mercato, le politiche edilizie di riferimento e le risorse disponibili, possono essere molto varie le relazioni che intercorrono tra gli operatori e le modalità con cui questi interagiscono. A seconda del modello possono anche variare gli ambiti operativi delle diverse figure del processo: in alcuni casi può esistere un rapporto gerarchico fra due operatori che invece non esiste più in un altro approccio; in alcuni modelli un operatore può assumere un ruolo più importante e svolgere funzioni più estese che in altri. Ruoli e margini di operatività possono quindi cambiare, come possono cambiare gradi di autonomia e indipendenza.

Le modalità con cui può essere organizzato un processo edilizio sono in continua evoluzione. Come per qualsiasi altro processo produttivo, la dinamica delle variabili economiche legate agli andamenti del mercato porta a continue modifiche dell'organizzazione del processo¹⁸. Nel caso della costruzione di opere di architettura e di ingegneria le componenti in gioco sono spesso molto numerose e complesse, sia per quanto riguarda i soggetti interessati (privati, pubblici, misti) sia per i capitali necessari che suppongono la presenza di altri soggetti finanziatori o di altre forme di approvvigionamento, sia per le ricadute sociali ed economiche delle opere realizzate.

Premesso che ogni forma organizzativa del processo non è mai rigida ma è oggetto di continua trasformazione e innovazione, si possono individuare schematicamente due grandi insiemi di tipologie di processo edilizio (Fig. 11): al primo – in cui risulta predominante il ruolo del committente – appartengono (tra quelli più interessanti per questa analisi) gli approcci tradizionale, tradizionale evoluto ed integrato; al secondo – in cui, invece, risulta significativa la gestione da parte del costruttore o comunque di un operatore dell'offerta nella realizzazione – fanno parte i cosiddetti approcci per agenzie ad orientamento

¹⁸ Missori, A. *Appunti sui modelli organizzativi del processo edilizio*, Università IUAV di Venezia, Febbraio 2011, p.3.

manageriale, ovvero il construction management, il project management e il management contracting.

Gli approcci di tipo tradizionale e tradizionale evoluto sono quelli maggiormente impiegati sia per opere di modesta entità che per opere di grandi dimensioni, nel settore pubblico e in quello privato, in Italia.

L'approccio tradizionale è sicuramente il modello organizzativo più diffuso che il committente usa per governare il processo edilizio. Complessità costituita innanzitutto dalla quantità ed eterogeneità degli operatori coinvolti: progettisti, costruttori, imprese specializzate, installatori, produttori di componenti, e così via.

La struttura tipica di questo approccio prevede relazioni fondamentalmente univoche e separate tra i diversi attori, in cui inizialmente il committente incarica (direttamente o tramite gara) il tecnico e, una volta terminata la redazione del progetto, l'impresa affidataria per la realizzazione dell'opera. Il costruttore, in seguito, subappalta parte dei lavori ad altre imprese e sceglie i produttori dei componenti per le forniture necessarie al cantiere.



Fig. 11 Classificazione dei più diffusi modelli organizzativi del processo edilizio

Ciascun operatore del processo opera in quasi completa autonomia dagli altri senza obbligatoriamente un coordinamento, se non quello molto labile svolto dal committente. La forma più spontanea di organizzazione consiste nell'operare secondo una logica sequenziale o a cascata. Ognuno inizia, cioè, a lavorare quando finisce chi lo precede, con un inevitabile prolungamento dei tempi e con il rischio che in presenza di un errore riscontrato a valle, il processo debba probabilmente fermarsi per permettere all'operatore a monte di riprendere la sua attività al fine di apportarne le dovute correzioni. Ciò accade sia in fase di progettazione che in fase di costruzione. Da questo discende anche una frammentazione delle responsabilità, in quanto il singolo attore è responsabile soltanto della propria attività di competenza.

L'approccio tradizionale evoluto si differenzia dal precedente per i rapporti più stabili che si creano tra il committente e i progettisti. Ciò accade quando la committenza organizza al suo interno una struttura tecnica di progettazione, come accade generalmente con gli enti pubblici o le grandi società private che gestiscono patrimoni immobiliari. Rispetto all'approccio tradizionale, quello evoluto migliora solo per quanto riguarda gli aspetti della programmazione nel tempo degli interventi e della sintonia di intenti tra committente e tecnici. Gli svantaggi, però, restano pressappoco uguali per entrambi gli approcci.

Gli inconvenienti che derivano da un processo edilizio basato secondo un approccio di tipo tradizionale hanno spinto nel tempo ad orientare anche le responsabilità della progettazione – e quindi non solo della realizzazione – all'impresa affidataria. Gli approcci integrati, pertanto, sono l'espressione di questa evoluzione del processo edilizio in ambito pubblico. In Italia è molto diffuso l'appalto integrato, secondo il quale la stazione appaltante, sulla base di un progetto preliminare elaborato dalla sua struttura tecnica, sceglie, mediante gara, l'impresa affidataria che ha l'onere di concorrere alla gara con un progetto definitivo, redatto a sua volta da un team di sua fiducia. L'impresa affidataria deve, pertanto, rispondere alle esigenze della committenza mediante la progettazione e la realizzazione dell'opera, riducendosi sensibilmente i tempi di progettazione e le incomprensioni con i tecnici (essi stessi consulenti dell'impresa).

Nei Paesi anglosassoni, in particolare negli Stati Uniti d'America, esistono diverse tipologie di approcci a gestione integrata in cui il costruttore assume maggiormente la leadership del processo e coordina sia la progettazione che la costruzione: il Turn-key project, il Developer proposal, il Package deal, il Design/build, l'Early tendering. Mentre i primi tre corrispondono alle formule di appalto 'chiavi in mano' gli ultimi due rappresentano appalti di progettazione e costruzione.

In particolare, la formula dell'Early tendering (appalto anticipato) permette al committente di scegliere il costruttore e di affidargli il contratto quando ancora il progetto è definito solo nelle sue linee generali. L'integrazione della progettazione esecutiva e dell'esecuzione comporta la potenzialità di avere una sovrapposizione delle due attività e di non essere necessariamente una di seguito all'altra.

Questo consente di anticipare certi lavori come quelli, ad esempio, di scavo o di fondazione, prima di aver ultimato la progettazione esecutiva della parte impiantistica o degli allestimenti interni, e così via. Ciò suppone che la struttura tecnica interna all'impresa sia ben organizzata. Il costruttore risulta così responsabile del soddisfacimento delle richieste del committente in base alle esigenze manifestate mediante capitolati del tipo funzionali e prestazionali.

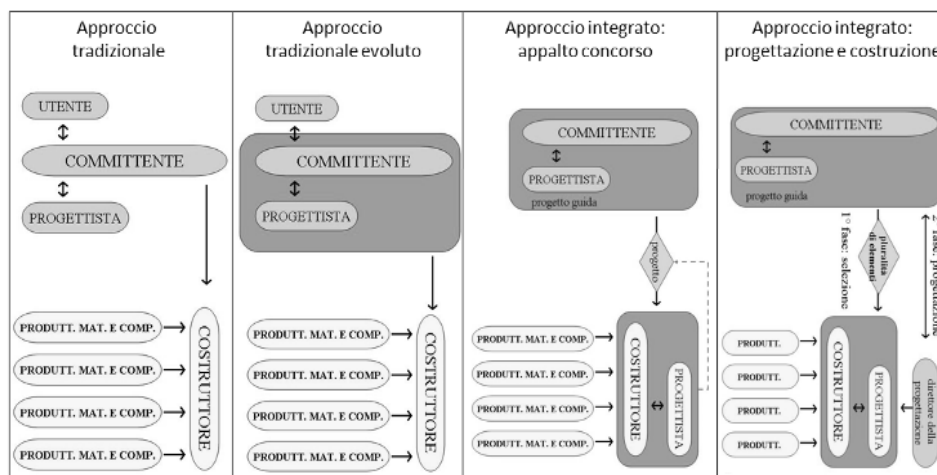


Fig. 12 Gli approcci in cui è prevalente la responsabilità del committente

Un approccio, quest'ultimo, che in Italia non è possibile attuare per la tradizionale separazione tra fase progettuale ed esecutiva stabilita già dalla Legge Merloni nel 1994.

La formula del Package deal rappresenta, invece, lo stadio più spinto di appalto concorso, in cui scompare la figura del progettista consulente del committente e ogni attività di progettazione è delegata al costruttore.

L'impossibilità della committenza pubblica ad affrontare la promozione e la gestione di processi edilizi complessi (soprattutto per ragioni economiche) e il crescente ruolo del promotore privato nelle operazioni di riqualificazione e trasformazione urbana anche di notevole importanza, hanno portato, specialmente nei Paesi anglosassoni, alla necessità di operare per mezzo di agenzie di consulenza che assicurino la completa gestione dell'intervento e il raggiungimento del risultato, attraverso la contrazione dei costi e dei tempi e la valorizzazione della qualità finale dell'opera. Per questi motivi si sono diffusi il construction management, il project management e il management contracting (Fig. 13).

Fra gli approcci a orientamento manageriale il construction management è stato il primo ad avere avuto applicazione già negli anni '40 del secolo scorso negli Stati Uniti e dal 1975 la General Services Administration (l'organismo committente di tutti gli edifici federali) lo ha reso obbligatorio per la gestione degli interventi superiori ai 10 milioni di dollari.

In questo tipo di modello il committente nomina separatamente un design team e un construction manager. Per funzionare al meglio occorre che i due attori si integrino profondamente tra loro, stabilendo un efficiente flusso di informazioni. Il design team ha il compito di redigere il progetto dell'opera in maniera dettagliata, quasi esecutiva, in cui è chiaramente definito ogni particolare tecnico, tecnologico e impiantistico, e naturalmente i costi. In parallelo, l'agenzia assiste i progettisti soprattutto negli aspetti tecnologico-realizzativi, al fine di ridurre incomprensioni e possibili ritardi – oltre che riserve da parte delle imprese – causati da impossibilità di messa in opera degli elementi costruttivi. L'agenzia predispone, inoltre, il progetto esecutivo/costruttivo necessario a realizzare l'opera (non lasciando alcuna libertà di scelta alle imprese) e

la documentazione di gara, assistendo il committente nella scelta delle imprese appaltatrici; gestisce e coordina il cantiere con funzioni simili alla direzione dei lavori e del cantiere assicurando il rispetto di tempi, dei costi e della qualità; svolge le verifiche e i collaudi finali.

Il contratto che lega il construction manager e il committente ha come base il rispetto dei tempi e dei costi di costruzione e il soddisfacimento delle prestazioni richieste. Inoltre, in tutte le forme di approcci per agenzie, le imprese costruttrici, i produttori e i fornitori sono oggetto di contratti separati. Non esiste cioè la figura di una impresa appaltatrice che ricorre a quelle subappaltatrici, ma il processo viene gestito unicamente dal construction manager con l'obiettivo, naturalmente, di raggiungere la maggior efficienza possibile.

Il project management, nato negli anni '30 del 1900 nel settore industriale statunitense, si è diffuso anche nell'industria delle costruzioni come evoluzione del construction management. Infatti, il project management integra tra i ruoli e le responsabilità del project manager tutta la fase progettuale, da quella preliminare a quella esecutiva. In questo modo il committente incarica un solo operatore in grado di assicurargli un servizio completo di progettazione, di assistenza contrattuale e di coordinamento dei lavori.

Una terza forma di modello organizzativo a orientamento manageriale del processo costruttivo è il management contracting, più recente dei primi due appena descritti. L'agenzia, specializzata nella contrattualistica delle costruzioni, viene incaricata dal committente di gestire unicamente la fase realizzativa dell'opera senza occuparsi della progettazione.

Il contract manager viene nominato contestualmente al team di progettazione con il compito di gestire il processo per accelerare tutte le fasi tenendo sotto controllo i relativi costi. La principale delle tecniche utilizzate per raggiungere gli obiettivi citati è quella del fast track scheduling (letteralmente programmazione su binario veloce). Con questo approccio il team di tecnici svolge tutta l'attività di progettazione fino ad un livello di dettaglio tale da permettere la cantierizzazione dell'opera. Contemporaneamente alla redazione del progetto, il

contract manager coordina le fasi realizzative che si sovrappongono, quindi, all'attività di progettazione (simultaneous engineering).

Il processo del management contracting si articola in diverse fasi: l'opera da realizzare viene suddivisa in diversi lotti (packages) caratterizzati da autonomia costruttiva; per ciascuno di questi 'pacchetti' il team di progettazione consegna al management contractor il relativo progetto, in ordine cronologico, legato alle necessarie priorità costruttive; sulla base dei progetti, il management contractor affida gli appalti mediante una procedura competitiva selezionando i contractors vincitori per ciascun lotto; inoltre, coordina gli appaltatori con il team di progettazione per sviluppare il progetto di ciascun lotto fino al livello cantierabile; al progredire della costruzione il management contractor organizza nuovamente la sequenza di appalti a 'pacchetti' per le ulteriori lavorazioni.

Un forte elemento di criticità di tale approccio, però, è legato al rischio che la contrazione forzata dei tempi possa accelerare le decisioni, con evidente rischio di errori progettuali.

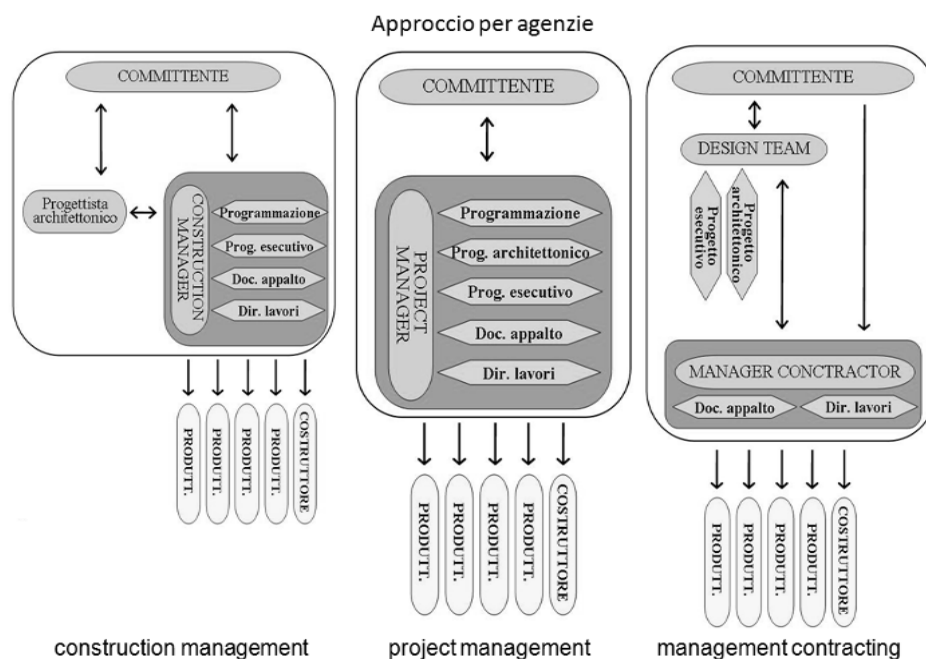


Fig. 13 Gli approcci in cui è prevalente la responsabilità del costruttore

Indipendentemente dai vantaggi e dagli svantaggi che l'adozione di un modello di gestione del processo edilizio può portare (la cui analisi esula dalle finalità di questa ricerca), risulta chiaro che nei Paesi anglosassoni i rapporti tra il committente (pubblico o privato che sia) e il soggetto responsabile della realizzazione dell'opera (sia esso l'impresa affidataria, piuttosto che il gestore/manager), sono differenti rispetto a quelli che sussistono in Italia. All'estero, come si è potuto vedere, il ciclo di vita di un fabbricato (dalla progettazione alla realizzazione, dalla manutenzione alla dismissione) viene gestito in maniera 'aziendale' in quanto un'unica regia (la società di ingegneria o l'agenzia di consulenza manageriale e così via) controlla l'intero processo con lo scopo di massimizzare i profitti minimizzando le spese. Nel nostro Paese, invece, l'elevata frammentazione dei ruoli e delle responsabilità, nonché un quadro normativo troppo farraginoso e burocratizzato, fanno sì che ogni operatore intervenga nel processo solo per la parte che gli compete e risulta difficile, in questo modo, coordinare efficientemente tutte le figure coinvolte.

Questo breve quadro appena esposto dimostra come nel tempo i Paesi più dinamici si siano dotati di metodologie e di strumenti di lavoro in grado di facilitare il compito di coordinamento e gestione del processo edilizio, 'industrializzando' un settore che, fino a qualche decennio fa, risultava di difficile controllo per le tante variabili in campo. Il Building Information Modeling, pertanto, ha trovato terreno fertile in quelle realtà abituate ad ottimizzare tempi e risorse e in cui gli attori del processo edilizio hanno bisogno di comunicare efficientemente mediante pochi linguaggi di scambio dati.

Tutto ciò è possibile, come detto, con un building information model che, potendo essere interrogato e modificato da chiunque ne avesse il controllo, consente ai progettisti di collaborare tra di loro con elevata produttività, alle imprese di ridurre le incomprensioni (nella scelta dei materiali e delle tecnologie, ad esempio) e di organizzare al meglio il cantiere edile, ai proprietari o ai gestori di controllare l'opera dal punto di vista manutentivo (la sostituzione di un serramento), energetico (la variazione delle condizioni termo-igrometriche di una porzione di fabbricato per la sostituzione di un

impianto), strutturale (l'ampliamento di un settore produttivo o ricettivo o residenziale) e funzionale (la ristrutturazione dell'edificio, o parte di esso, per il variare delle esigenze).

I benefici, così come i rischi, nell'apportare una così grande novità nel mondo delle costruzioni non sono pochi. L'Italia mostra ancora una certa diffidenza, dovuta ad una realtà normativa e di metodo legata fortemente alla tradizione. Per le piccole e medie imprese edili, che sono in numero estremamente maggiore rispetto alle grandi società di costruzioni, così come per i singoli professionisti e i piccoli studi di ingegneria e di architettura non è facile investire ingenti risorse in un cambiamento radicale del modo di lavorare.

Vero è, però, che il mutamento è in atto. Ne sono ben consapevoli progettisti e imprese che partecipano a bandi e gare internazionali in cui, sempre più frequentemente (come analizzato nel paragrafo successivo), è richiesto l'uso della metodologia BIM. L'auspicio è di assistere, in breve tempo, ad una nuova sensibilità propositiva alimentata – come sempre meno avviene anche in altre branche del settore dell'ingegneria e dell'architettura – dalle Istituzioni politiche, dalle Università, dai Centri di ricerca, dagli Ordini professionali e così via.

2.4 LE SCELTE DELL'UNIONE EUROPEA

Le moderne metodologie e tecnologie BIM sono un'occasione concreta per ridurre le inefficienze tipiche del settore edilizio e possono rappresentare una risorsa per l'innovazione del processo di produzione e gestione del costruito. Gli strumenti BIM, oggi giunti a un grado di maturità tale da consentire un controllo efficace dell'informazione, dalla fase di concezione fino a quella di esercizio di un'opera, permettono rilevanti economie di settore. Per questo motivo, da parte dei Governi dei principali Paesi industrializzati, vi è una crescente attenzione verso l'adozione del BIM per le procedure di appalto pubblico: le esperienze internazionali mostrano che i processi produttivi basati sul BIM sono in generale più efficienti, forniscono un prodotto finale di alta qualità e garantiscono un controllo migliore dei costi.

L'uso sempre più ricorrente del Building Information Modeling nei processi edilizi di matrice pubblica, come detto, nonché la divulgazione di norme tecniche internazionali sul tema – si citano, tra le più recenti, la ISO 29481-1:2010 *Building information modelling - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format*; la ISO/TS 12911:2012 *Framework for building information modelling (BIM) guidance*; la ISO 16739:2013 *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries*; la ISO 15686-4:2014 *Building Construction - Service Life Planning - Part 4: Service Life Planning using Building Information Modelling* – hanno indotto anche l'Unione Europea ad analizzare tali fenomeni e a recepirli nel settore dei lavori pubblici.

Gli appalti pubblici svolgono un ruolo fondamentale nell'economia globale della Comunità Europea, dove gli acquirenti pubblici investono circa il 18% del PIL nelle forniture, nelle opere e nei servizi. Secondo uno studio del 2012 rilasciato dalla Commissione Europea¹⁹, gli enti pubblici che hanno già implementato soluzioni di e-procurement (informatizzazione delle procedure) hanno ottenuto un risparmio di spesa negli appalti stimato tra il 5% e il 20% rispetto agli approcci tradizionali. La dimensione totale del mercato degli appalti in UE è stimato in oltre 2 trilioni di euro, quindi ad ogni 5 punti percentuali corrisponderebbero circa 100 miliardi di euro risparmiati all'anno.

Dopo anni di lavori da parte della Commissione Europea, lo scorso 15 gennaio 2014 è stata adottata la European Union Public Procurement Directive (EU PPD), con la quale la UE intende rinnovare l'intero iter degli appalti pubblici, snellendo le procedure, migliorando la qualità degli interventi, riducendo la spesa pubblica e controllando in maniera più efficace le commesse. Tra i metodi e gli strumenti proposti per pervenire a tali scopi rientra anche il Building Information Modeling.

¹⁹ Commissione Europea, *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. Una strategia per gli appalti elettronici*, Bruxelles, 20.4.2012, URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0179:FIN:IT:PDF>.

Nella Direttiva si legge, infatti, che per garantire l'interoperabilità dei formati tecnici nonché degli standard di elaborazione dei dati e di messaggistica, in particolare in un contesto transfrontaliero, alla Commissione è conferito il potere di adottare atti [...] per stabilire l'uso obbligatorio di tali standard tecnici specifici, in particolare per quanto riguarda l'uso della presentazione per via elettronica, i cataloghi elettronici e le modalità di autenticazione elettronica, solo se gli standard tecnici sono stati testati e hanno dimostrato un'utilità pratica. Prima di rendere obbligatorio l'uso di eventuali standard tecnici, la Commissione esamina anche accuratamente i costi che ciò può comportare, in particolare in termini di adeguamento a soluzioni esistenti in materia di appalti elettronici, comprese le infrastrutture, l'elaborazione o il software²⁰.

I 28 Stati Membri, quindi, dovranno recepire tale Direttiva entro il 2016 ma soprattutto dovranno essere in grado di colmare il gap nei confronti di Regno Unito, Finlandia, Danimarca e Norvegia, in cui il Building Information Modeling è già realtà da qualche anno.

A tal proposito il governo britannico stima di aver risparmiato, a seguito dell'utilizzo della metodologia e dei software BIM nell'industria delle costruzioni, l'equivalente di circa 2 miliardi di euro sui grandi progetti di edilizia pubblica dal 2012 e di aver rispettato le scadenze temporali per oltre il 66% delle commesse della Major Project Authority (un incremento del 33% rispetto al 2010).

2.5 LE PRIME ESPERIENZE IN ITALIA

In Italia si stanno muovendo i primi timidi passi verso la sensibilizzazione al tema. Ad esclusione di pochi grandi studi di ingegneria e di architettura, che già da decenni collaborano con realtà internazionali, la quasi totalità della filie-

²⁰ Parlamento Europeo, *Risoluzione legislativa del Parlamento europeo del 15 gennaio 2014 sulla proposta di direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio sugli appalti pubblici (COM(2011)0896 – C7-0006/2012 – 2011/0438(COD))*, p. 169, relatore: Tarabella, M. URL: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+TA+20140115+SIT-02+DOC+PDF+V0//IT&language=IT>.

ra delle costruzioni è impreparata ad affrontare tali sfide di cambiamento. Anche le grandi imprese di costruzioni italiane (quelle, cioè, che lavorano prevalentemente all'estero e specialmente nei Paesi in forte di sviluppo) iniziano ad incontrare le prime serie difficoltà, in campo internazionale, per partecipare alle gare per l'affidamento di grandi lavori pubblici o privati, nei quali sempre più frequentemente è richiesto l'uso del BIM.

Sono pochi nel nostro Paese, purtroppo, gli Ordini professionali, le associazioni di costruttori, gli Enti di Ricerca, le Università che investono risorse per diffondere questa nuova cultura progettuale, ma soprattutto organizzativa, del processo edilizio. Uno dei primi ampi progetti di ricerca nel campo del Building Information Modeling è InnovANCE, promosso dall'Associazione Nazionale Costruttori Edili e finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico in partnership con altre società ed enti – pubblici e privati – che gravitano nella filiera delle costruzioni (come l'ENEA, il CNR e l'UNI) nonché con i Politecnici di Milano e Torino e l'Università di Napoli "Federico II" (Fig. 14).

Con il coinvolgimento dei maggiori attori del settore delle costruzioni, il progetto punta alla formazione di una banca dati nazionale dei prodotti dell'edilizia. Il sistema intende favorire la condivisione del know-how tecnico e tecnologico tra i differenti soggetti coinvolti e, di conseguenza, ottimizzare ogni fase del processo costruttivo: dalla progettazione alla produzione di componenti, dalla realizzazione in cantiere fino all'uso, gestione e manutenzione del manufatto. Il database, in ragione dei metodi di raccolta, catalogazione e distribuzione dei dati in maniera normata ai sensi della UNI 11337 "Criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse", raccoglie, per ciascun componente edilizio, non solo le schede tecniche ma soprattutto i modelli informatici bim caratterizzati dalle necessarie specifiche computazionali, prestazionali e qualitative e implementabili gratuitamente all'interno dei processi progettuali o manutentivi basati sul Building Information Modeling.

Nel dettaglio, attraverso un intervento di natura organica a livello di filiera, l'obiettivo è quello di creare le condizioni al contorno utili affinché sia garantita non solo la produzione di componenti per l'edilizia a costi competitivi

ma anche la loro efficiente ed efficace interazione ed integrazione nell'edificio, unico vero parametro di giudizio dell'utenza attraverso cui sono poi misurati gli sforzi dei singoli produttori di componenti.

Un altro interessante impiego del BIM in ambito di ricerca si ritrova nel progetto europeo Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces (SEEM-PubS) che vede coinvolti l'Italia (con il Politecnico di Torino e il Centro Ricerche FIAT, tra gli altri), la Francia, la Germania, la Svezia e il Belgio. L'obiettivo è quello di definire una metodologia, facilmente riproducibile in diverse realtà europee, per la riduzione delle emissioni di CO₂ realizzando un sistema ICT intelligente di monitoraggio e di controllo del consumo energetico negli edifici e negli spazi pubblici esistenti, anche storici²¹.



Fig. 14 Struttura organizzativa del partenariato InnovANCE

²¹ Osello, A. op. cit., p. 191.

Creando modelli bim degli edifici e degli spazi esistenti, si intende pervenire al cosiddetto BIM Integrated Facility, ovvero al monitoraggio delle prestazioni energetiche (per mezzo di sensori di rilevamento ambientale) e alla conseguente gestione e manutenzione dei fabbricati oggetto di analisi (Fig. 15).

Dal punto di vista normativo, l'Italia non ha ancora emanato provvedimenti o norme in materia di impiego del BIM nel settore delle costruzioni ma sta iniziando a percepire le influenze degli altri Paesi europei.

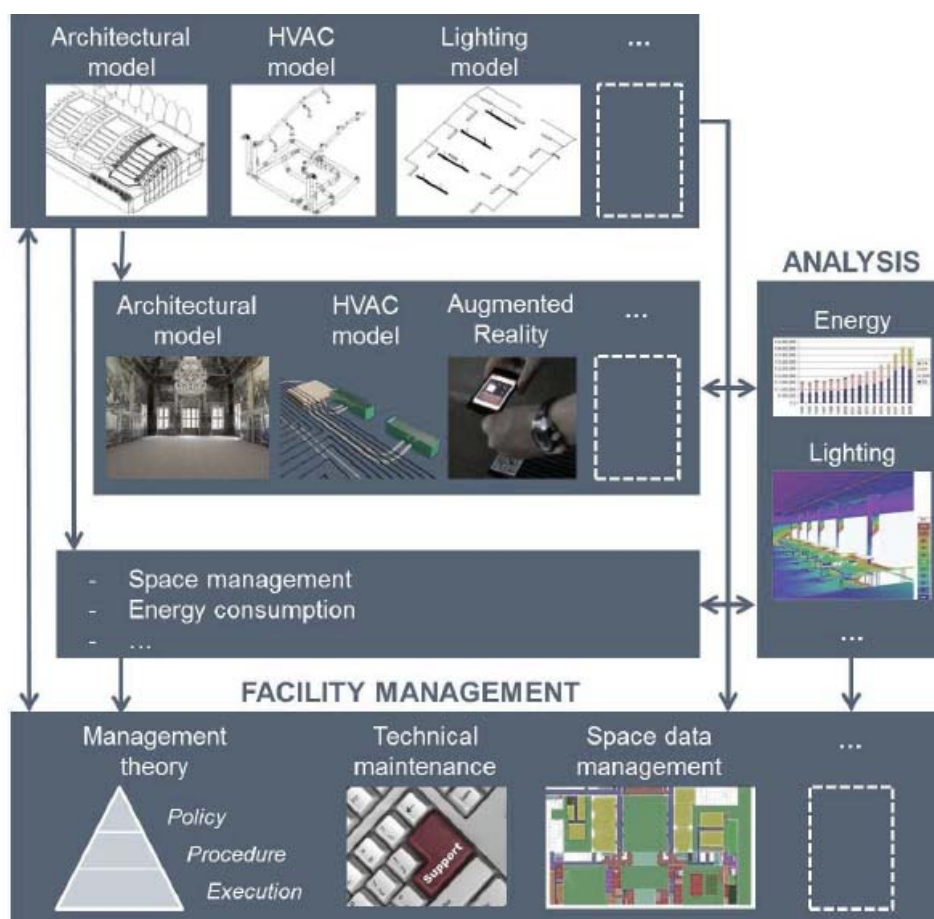


Fig. 15 Struttura di lavoro SEEMPubS per la modellazione BIM di edifici esistenti

È del 16 Luglio 2013 un Bollettino delle Giunte e delle Commissioni Parlamentari della Camera dei Deputati nel quale si parla per la prima volta di 'sistema BIM'. Era intenzione della Camera integrare il Decreto Legge n. 63 del 4 giugno 2013 (Disposizioni urgenti per il recepimento della direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale) con l'articolo 15 (Interventi sul patrimonio immobiliare italiano, pubblico e privato, di riqualificazione statica, energetica e ambientale, anche a fini di mobilità sostenibile) in cui al comma 2 si leggeva che *Le attività oggetto dei programmi di miglioramento sono: [...] c) gli interventi di diagnosi, audit energetici, statici, antisismici, anche attraverso software di applicazione del sistema BIM – Building Information Modeling*²².

Tale proposta di modifica, come anche altre, non è stata accolta e ciò si evince dal testo della Legge 3 agosto 2013, n. 90 (Conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 4 giugno 2013, n. 63) in cui non c'è alcun riferimento al BIM, segno (anche questo, purtroppo) che il nostro Paese non è ancora pronto a recepire una così forte innovazione del processo edilizio.

²² Camera dei Deputati, Bollettino delle Giunte e delle Commissioni Parlamentari, XVII Legislatura, Martedì 16 Luglio 2013, p. 43, URL: <http://documenti.camera.it/leg17/re-soconti/commissioni/bollettini/pdf/2013/07/16/leg.17.bol0056.data20130716.pdf>.

3. STRUMENTI BIM E MODELLAZIONE PARAMETRICA

3.1 PREMESSE

Il Building Information Modeling rappresenta, prima di tutto una metodologia all'interno della quale il progetto – nonché la sua realizzazione e successiva gestione – può essere descritto compiutamente ad un alto livello di informazione, integrando l'insieme delle conoscenze proprie delle diverse discipline e specialità che vi confluiscono e che rendono il processo edilizio di elevata complessità. Per attuare tale metodologia è indispensabile l'impiego degli strumenti informatici nati per far fronte ai nuovi sviluppi progettuali. Per un gioco di cause ed effetti l'implementazione e lo sviluppo continuo dei software BIM suscitano sempre maggior interesse verso la modellazione parametrica 'intelligente' e rappresentano, in alcuni casi, addirittura il motore del cambiamento culturale e normativo.

Chuck Eastman, ritenuto da molti il padre della disciplina, riassume in quattro punti il positivo impatto dei programmi BIM sulla filiera delle costruzioni: l'introduzione di un modello digitale integrato (bim) come risposta univoca alla necessità di modellazione informativa per le costruzioni; la possibilità di effettuare analisi energetiche, tecnologiche e strutturali già dalla fase pre-concettuale per avere indicazioni di larga massima sulle decisioni da prendere in seguito; il trasferimento e lo scambio dei dati resi omogenei per un approccio coordinato tra i vari professionisti; lo sviluppo coerente degli elementi tecnologici maturati dalla fase di progettazione sino alla realizzazione, mantenendo parallelamente un archivio di dati utili e uno storico di scelte effettuate sempre interrogabili. Questi aspetti implicano, quindi, l'utilizzo di uno strumento informatico versatile per ogni fase progettuale, capace di integrarsi ed evolversi parallelamente all'organismo edilizio. Non sono pochi, però, i dubbi che sorgono nell'affrontare l'intero processo progettuale con i software dedicati al BIM. L'aspirazione di coprire tutto il ciclo di vita di un edificio dovrebbe basarsi sull'utilizzo del building information model già dalla fase di concept e

degli studi di fattibilità. L'efficacia dello strumento in queste attività porta comunque ad un appesantimento della fase di progettazione preliminare (come visto nel par. 1.4), durante la quale molte scelte devono essere già chiare per poter mantenere il modello coerente fino alla fase di realizzazione. Ciò implica innanzitutto una ri-organizzazione dei ruoli e delle responsabilità nel team di progettazione e quindi un modo nuovo di collaborare e di relazionarsi tra i vari attori del processo edilizio.

È opportuno, pertanto, accennare alle nuove figure professionali che si stanno delineando (in alcuni casi sono già realtà) nel processo edilizio grazie all'introduzione del Building Information Modeling. Il Design Co-ordinator Manager (o più semplicemente BIM Manager), ad esempio, ha il compito di coordinare l'uso della progettazione parametrica nel progetto, sia dal punto di vista metodologico che tecnologico, determinando, quindi, il programma temporale di utilizzo, la condivisione delle attività e controllando la qualità del processo. Il Lead Design ha la responsabilità di confermare i risultati del progetto per ogni fase (preliminare, definitiva, esecutiva/cantierabile), approvando e consegnando man mano la documentazione (informatica) nelle mani del Task Team Manager, tipicamente costituito da figure professionali di grande esperienza nei singoli settori delle costruzioni (involucro, strutture, impianti, ecc.).

Altra figura chiave è il Project Information Manager il quale si assicura che tutte le informazioni siano conformi con gli standard adottati e che ogni modello o file sia stato correttamente implementato. Il CAD/BIM Coordinator assicura un corretto flusso di lavoro tra il disegno tradizionale al CAD e la modellazione tridimensionale 'intelligente'. Solitamente è responsabile dell'operato del Task Team Manager e del Project Information Manager. In ultimo, non per importanza, è presente il CAD/BIM Manager, il quale assicura la corretta trasformazione, quando necessario, dei modelli bim in modelli CAD, specialmente nell'elaborazione dei grafici bidimensionali. Naturalmente, nel caso di studi e/o di commesse di dimensioni limitate, alcuni dei ruoli descritti vengono ricoperti dalla stessa persona (Fig. 16).

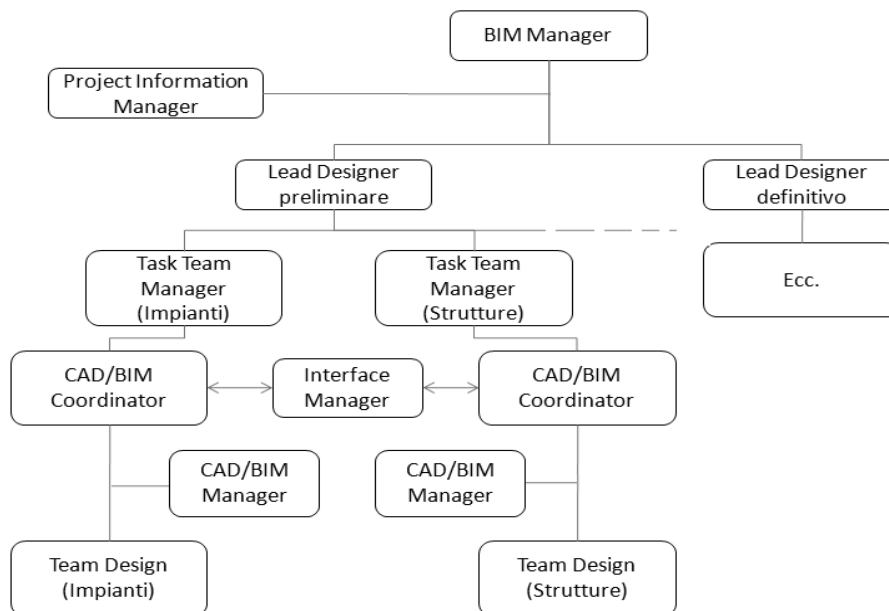


Fig. 16 I ruoli all'interno di un BIM team

Questo capitolo, pertanto, tratta l'evoluzione dei software per la progettazione nonché il funzionamento (e la 'filosofia' tecnologica che vi sta alla base) dei software BIM, portando alcuni brevi ma significativi esempi di modellazione parametrica, soffermandosi anche sul grado di interoperabilità che riescono a fornire, per consentire un'agevole comunicazione tra gli attori del processo edilizio.

3.2 L'EVOLUZIONE DEI SOFTWARE PER LA PROGETTAZIONE

È trascorso ormai mezzo secolo da quando, nel 1962, veniva messo appunto al Massachusetts Institute of Technology l'antenato dei sistemi CAD (Computer-Aided Design), lo Sketchpad, con cui si potevano disegnare linee bidimensionali monocromatiche attraverso il collegamento di un display al computer.

Già verso la metà degli anni Settanta del secolo scorso i software per la progettazione assistita venivano aggiornati e arricchiti di nuove funzioni e svincolati dal semplice strumento di disegno, diventando un indispensabile

supporto non solo per la progettazione meccanica ma anche per il rilievo, la modellazione tridimensionale e il calcolo. Da allora, ma soprattutto con la diffusione dei computer negli studi tecnici alla fine degli anni Ottanta, si è rivoluzionato il modo di progettare, di disegnare e di pensare all'architettura. I sistemi CAD hanno reso immediatamente desueti i tavoli da disegno, diventando dapprima 'tecnigrafi elettronici' e poi 'elaboratori grafici di oggetti intelligenti', fino ad evolversi nei rivoluzionari software di modellazione parametrica BIM.

Il CAD tradizionale è ancora oggi largamente diffuso nella pratica professionale poiché assicura, rispetto al disegno manuale, una buona automazione del processo di produzione degli elaborati tecnici grazie all'utilizzo di primitive grafiche, campiture, simboli e quote.

I disegni così editati, però, possono essere caratterizzati da numerosi errori e divergenze soprattutto se sullo stesso elaborato lavorano più progettisti; inoltre, per la natura stessa del CAD tradizionale utilizzato come tecnigrafo elettronico, ogni componente grafico che costituisce il disegno risulta privo di informazioni sulle proprietà fisiche e meccaniche dell'elemento che intende rappresentare e, pertanto, il disegno non può essere 'interrogato'.



Fig. 17 A sinistra lo Sketchpad, a destra il 'tecnigrafo elettronico'

Si sono così sviluppati, nel corso degli anni Novanta del 1900, i sistemi CAD ad oggetti (i cosiddetti OOCAD, Object Oriented CAD) che hanno introdotto la modellazione infografica tridimensionale nel campo della progettazione architettonica, strutturale ed impiantistica trasformando, ancora una volta, i canoni del disegno tecnico. I sistemi OOCAD producono componenti 3D virtuali (il muro, il pilastro, la porta, ecc.) che, legati assieme tramite semplici vincoli relazionali, generano modelli tridimensionali verosimili del fabbricato, da cui è possibile estrarre la documentazione grafica (piante, sezioni e prospetti), le immagini renderizzate, le animazioni, e così via.

La tecnologia 3D ha di fatto perfezionato il lavoro dei tecnici in grado, con questi strumenti, di ottenere un miglior controllo del progetto: la visualizzazione del modello tridimensionale in real time, l'associatività immediata con il disegno bidimensionale, l'elaborazione di render realistici (viste contestualizzate dell'esterno, scorci degli ambienti interni già arredati, animazioni iperrealistiche) sono solo alcuni dei vantaggi offerti dai sistemi CAD ad oggetti.

I nuovi software hanno avuto, indirettamente, un impatto molto positivo anche per la committenza, spesso costretta a sforzi di immaginazione per poter 'leggere' una pianta o una sezione di un edificio; l'elaborazione di modelli tridimensionali e di render hanno reso possibile la prefigurazione di soluzioni progettuali risultando, pertanto, di immediata comprensibilità a chiunque.

Non a caso, da diversi anni, tutti i concorsi di idee e di progettazione richiedono tavole di render, di foto-inserimenti e di tutto ciò che risulti utile alla comprensione univoca e immediata del progetto.

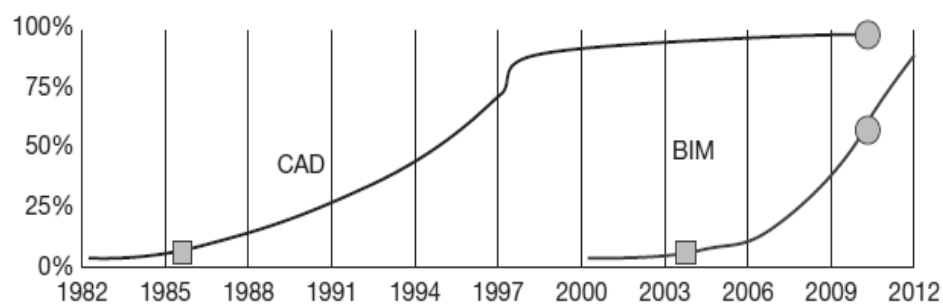


Fig. 18 L'impiego del CAD e del BIM nel settore AEC statunitense

I sistemi CAD ad oggetti, però, non offrono l'associatività tra i vari componenti editati e le modifiche apportate ad un elemento non si estendono a tutti gli elementi dello stesso tipo. Occorre, quindi, un notevole sforzo di impostazione a monte e di gestione in itinere del lavoro per ottenere automaticamente altri dati di output necessari alla corretta impostazione del progetto, come il computo dei materiali, le informazioni di carattere energetico, le proprietà fisico-meccaniche degli elementi, e così via.

La naturale evoluzione dei sistemi OOCAD è rappresentata dalla tecnologia BIM, la cui principale innovazione consiste, come detto nei capitoli precedenti, nella coesistenza di tutte le informazioni del progetto in un unico database. I componenti edili che si modellano sono, in realtà, oggetti parametrici interconnessi da precise relazioni gerarchiche, a cui vengono associate caratteristiche fisiche e meccaniche per simulare il reale comportamento dell'edificio, o di sue parti, già in fase di progetto preliminare. In questo modo, ad esempio, la 'famiglia' (o 'macro', o 'libreria', a seconda del software impiegato) finestra è riconosciuta dal software come un'entità che può essere interconnessa solo alla famiglia muro ed è composta dagli elementi telaio fisso e telaio mobile che, grazie al fatto di essere oggetti parametrici, sono modificabili nelle proprietà geometriche, meccaniche e fisiche (lo spessore del telaio, il numero delle ante o dei traversi, il tipo di materiale, il coefficiente di conducibilità termica dei vetri, ecc.).

I cambiamenti apportati ad una famiglia (o ad un insieme di famiglie), in questo modo, vengono automaticamente riportati a tutti gli elementi che compongono quella famiglia e il modello tridimensionale si aggiorna in tempo reale, sia negli indispensabili elaborati bidimensionali, che automaticamente vengono generati dal software (piante, sezioni, prospetti, particolari costruttivi, spaccati assonometrici, abaco dei componenti, abaco dei materiali) che nei report sull'efficienza energetica, sul computo dei materiali, sul programma di manutenzione, sul cronoprogramma e via dicendo. Nei sistemi BIM, quindi, tutte le informazioni introdotte possono essere veicolate in automatismi atti a supportare il progettista (e non solo) nelle operazioni meccaniche e ripetitive.

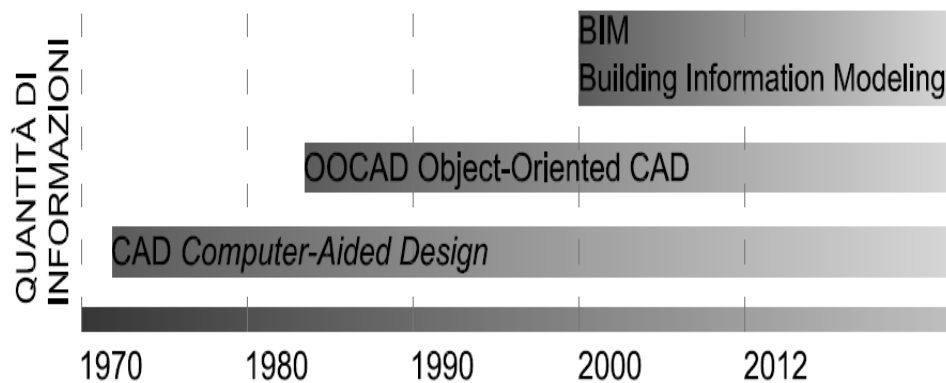


Fig. 19 Evoluzione degli strumenti informatici per la progettazione

L'utilizzo consapevole dei software BIM per la progettazione (i più noti sono ArchiCAD della Graphisoft, Allplan della Nemetschek, Revit della Autodesk) consente, inoltre, un notevole miglioramento della qualità del progetto stesso, non solo perché è possibile interrogare in qualsiasi momento il database del programma, ma perché in un unico file è possibile integrare il progetto architettonico, quello strutturale, quello impiantistico e quello energetico, permettendo a più figure di intervenire sullo stesso 'foglio di lavoro' e di lavorare con gli stessi strumenti. Il risparmio di tempo (e quindi di costi) è notevole se si pensa alla sensibile riduzione di errori e alle immediate modifiche associative apportate dal software, che si traducono in elaborati grafici sempre coerenti con i vari aspetti del progetto e le modifiche in itinere.

Molto probabilmente il futuro – non troppo remoto – dei software BIM sarà rappresentato dai cosiddetti sistemi BLM (Building Lifecycle Management) che allargano i confini della progettazione verso gli scenari della gestione e del controllo integrato del manufatto. La normativa italiana già contempla, tra gli elaborati progettuali da produrre, il fascicolo del fabbricato che vede impegnati i tecnici anche nel prevedere e progettare la manutenzione e la ristrutturazione del fabbricato, programmando investimenti e costi di gestione. È pertanto auspicabile che i futuri software BIM integrino le potenzialità del BLM per gestire consapevolmente problematiche troppo spesso trascurate relative all'uso dei fabbricati.

L'impiego di software avanzati, da un lato, e l'evoluzione di nuove tecnologie applicate all'industria delle costruzioni, dall'altro, stanno innescando un lento ma incisivo mutamento del ruolo professionale del progettista. Questi dovrà possedere una conoscenza di elevato livello per poter interfacciarsi in maniera attiva con tutti gli operatori coinvolti nel processo, cercando il più possibile di mantenere in cantiere la fedeltà dell'idea iniziale.



Fig. 20 Dallo schizzo a mano (in basso) al modello bim (in alto), passando per il disegno al CAD e la modellazione 3D

3.3 I PIÙ COMUNI SOFTWARE BIM

Il mercato dell'informatica è in continua evoluzione e fornisce da decenni a tecnici, imprese e aziende del settore delle costruzioni validi strumenti per ogni tipo di esigenza professionale. Tutte le più grandi software house (Autodesk, Graphisoft, Nemetschek, per citarne alcune) propongono periodicamente, e in tempi brevissimi, prodotti nuovi e aggiornati. L'affermazione dei programmi di progettazione BIM è avvenuta meno di vent'anni fa quando Paesi come gli Stati Uniti, il Canada, il Regno Unito e l'Australia (notoriamente inclini alle innovazioni) hanno investito culturalmente ed economicamente nelle nuove metodologie di progettazione per poi influenzare il resto delle nazioni industrializzate. Ad oggi, gli strumenti di modellazione BIM variano a seconda della intuitività dell'interfaccia grafica, del numero e della qualità di oggetti 'intelligenti' contenuti nelle librerie, della velocità di aggiornamento delle modifiche apportate, della grandezza dei file prodotti e del grado di interoperabilità con altri software.

Già negli anni '80 del secolo scorso la Graphisoft immise sul mercato la prima versione di ArchiCAD. Negli anni l'interfaccia man mano più intuitiva, le librerie di materiali e oggetti sempre più ampie e la possibilità di interazione con alcune applicazioni per i calcoli energetici, hanno reso più facile il suo rapporto con l'utente. ArchiCAD, così come gli altri software BIM di seguito descritti, consente di lavorare con diverse viste aperte contemporaneamente (ad esempio con la combinazione di pianta, prospetto e assonometria) che si aggiornano in tempo reale ad ogni operazione di aggiunta o di modifica degli oggetti facilitando, così, il controllo del progetto stesso da parte del tecnico. Uno dei punti di forza di questa tecnologia consiste nell'annullamento dei tempi di revisione e modifica manuale degli elaborati cosa che, invece, caratterizza negativamente la tradizionale metodologia progettuale con i programmi CAD.

Negli ultimi anni a fare concorrenza al precursore dei software BIM sono subentrati Allplan della Nemetschek e la suite Revit della Autodesk che, tra le altre cose, hanno svincolato la progettazione dalle forme 'standard' proposte dai software OOCAD, mettendo i progettisti in condizione di poter sperimentare anche geometrie complesse, prima realizzabili solo con modellatori 3D puri.

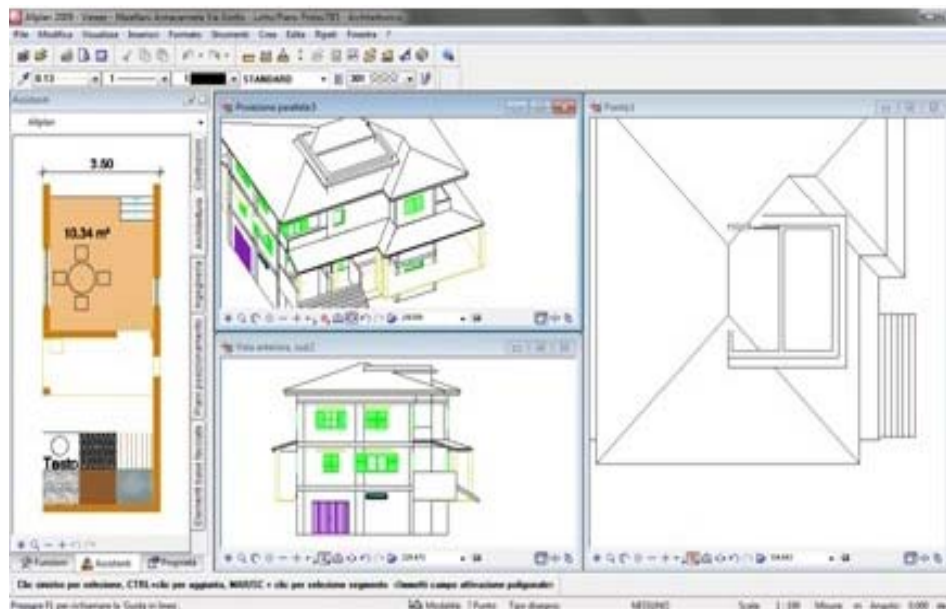


Fig. 21 Interfaccia grafica di Allplan

Allplan è in grado di gestire agevolmente progetti complessi, caratterizzati da una notevole mole di dati, grazie al salvataggio dei database in file diversi da quelli di lavoro, alleggerendo le operazioni di calcolo. Inoltre, contiene plug-in per il calcolo strutturale ed energetico e si collega facilmente a diversi programmi esterni (ad esempio per il computo metrico dei materiali) tali da renderlo adatto alla maggior parte dei casi; di contro, però, non gode di una interfaccia user-friendly risultando macchinosa soprattutto la fase di impostazione del progetto.

Revit, invece, sta guadagnando fette di mercato sempre più importanti proprio per la sua grafica intuitiva. I moduli per l'architettura (Revit Architecture), per le strutture in cemento armato e in acciaio (Revit Structure) e gli impianti idrici, elettrici e meccanici (Revit MEP), nonché l'elevata interoperabilità con altri prodotti dedicati al settore delle costruzioni (non solo della stessa software house Autodesk), rendono questo software adatto a diverse esigenze. Le librerie di materiali e oggetti (sia di tipo architettonico, che strutturale e impiantistico) sono ricche e aggiornate periodicamente anche da molte aziende

del settore edile che forniscono i propri prodotti già come oggetti informatici intelligenti dotati delle caratteristiche tecniche specifiche.

Quelli appena descritti sono solo alcuni dei diversi software BIM impiegati nella pratica professionale, ma rappresentano certamente quelli più noti e diffusi. Tra gli altri si citano Digital Project della Ghery Technologies, Vectorworks della Nemetschek e Tekla Structures della Tekla Corp.

Nei due paragrafi successivi si evidenziano le principali caratteristiche di modellazione di un programma parametrico (nel caso specifico si fa riferimento ad Autodesk Revit sottolineando che il principio di 'funzionamento' è pressoché lo stesso per tutti gli altri software) nonché le indispensabili funzioni di interoperabilità con altri programmi (non necessariamente BIM).

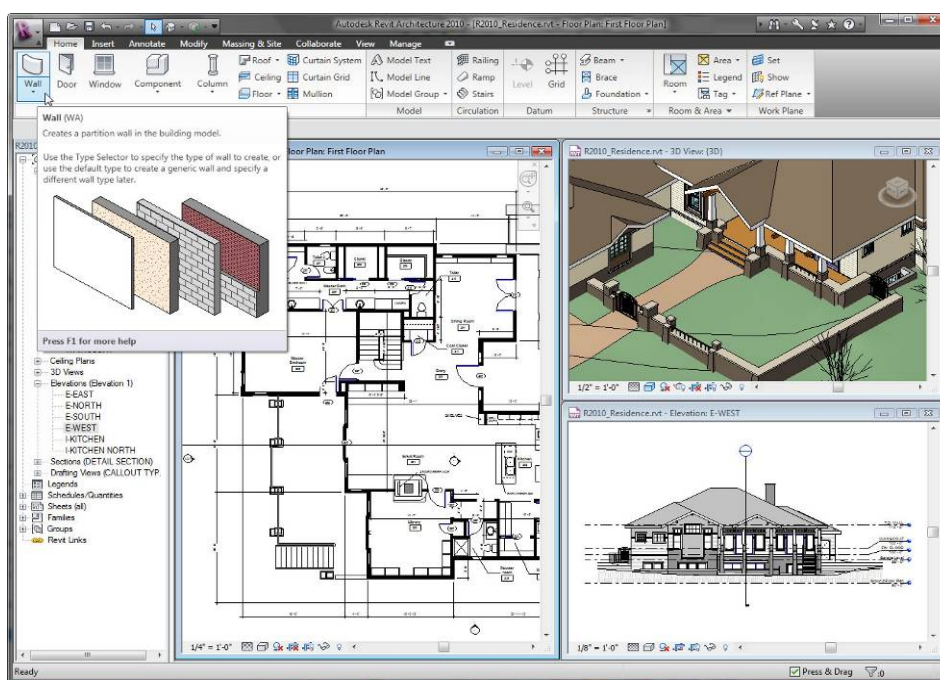


Fig. 22 Interfaccia grafica di Revit

3.4 LA MODELLAZIONE PARAMETRICA

Un sistema BIM produce elaborati non più basati solo su linee, forme o caselle di testo, ma su insiemi di dati che descrivono virtualmente gli oggetti e come essi si comportano fisicamente. L'utilizzo del medesimo database di dati permette la creazione di 'prototipi virtuali' che consentono di valutare il funzionamento dell'edificio attraverso tutte le discipline dell'ingegneria moderna, dalle analisi strutturali alle simulazioni energetiche. La possibilità di sostituire un materiale e di analizzarne le ricadute su tutto il progetto quasi in tempo reale, ad esempio, permette di fare valutazioni accurate e veloci.

Innanzitutto è possibile definire le coordinate geografiche del sito su cui si andranno a realizzare gli interventi (di nuova costruzione o di ristrutturazione, recupero, restauro, ecc.) non solo per catturarne la morfologia o le caratteristiche di urbanizzazione (Fig. 23), ma soprattutto per individuarne le condizioni climatiche che, automaticamente, vengono acquisite dalla stazione meteorologica più vicina (Fig. 24). Tali dati sono salvati all'interno del database del progetto su cui si sta lavorando e poi utilizzate durante la fase relativa alle analisi energetiche.

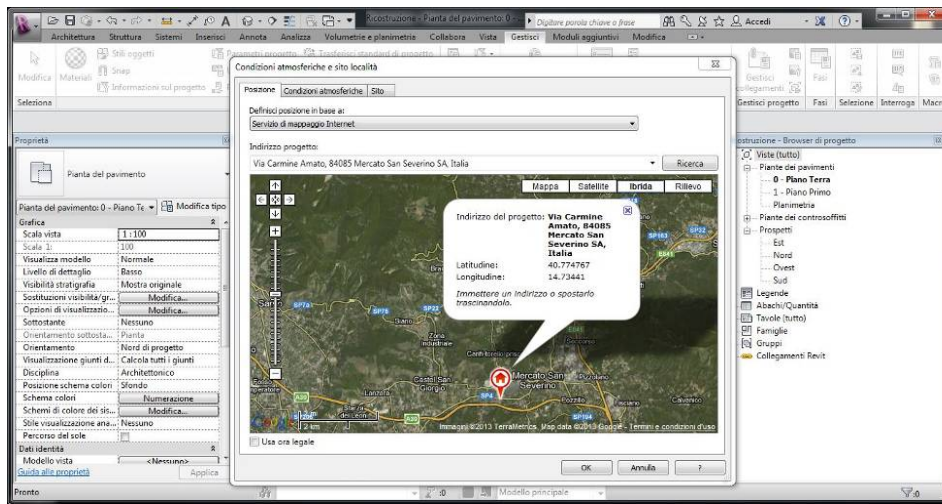


Fig. 23 Individuazione del sito oggetto di interventi

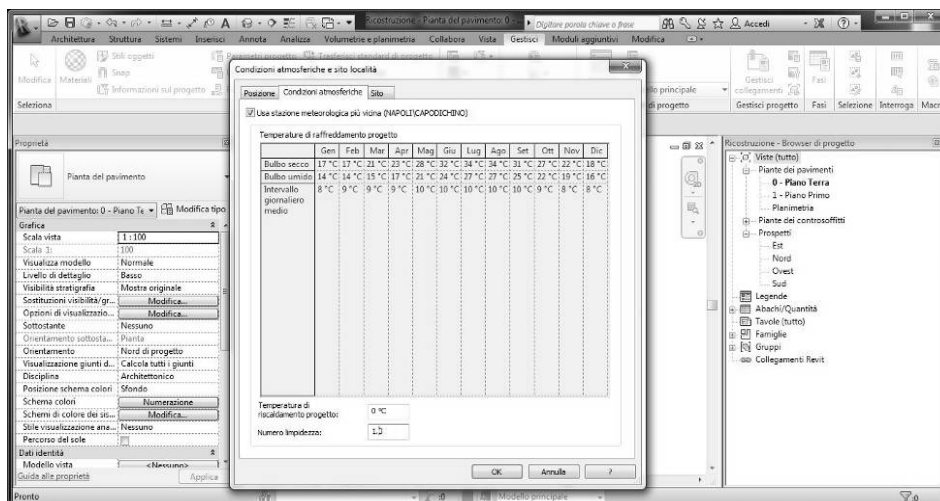


Fig. 24 Tabella delle condizioni atmosferiche del sito

La fase di progettazione preliminare risulta quella più impegnativa in quanto, per adottare in maniera completa ed efficiente la ‘filosofia’ del Building Information Modeling per l’intero processo, occorre definire abbastanza accuratamente – seppur con un gran margine di elasticità e con la possibilità di apportare modifiche e integrazioni in qualsiasi fase – le caratteristiche fisiche e meccaniche dei vari elementi tecnologici che il progettista è intenzionato ad impiegare. Ad esempio, utilizzando ‘pacchetti’ di oggetti digitali, già presenti nelle librerie del software e che necessitano solo di essere editati o creando ex novo elementi costruttivi parametrici, è possibile andare a definire le specifiche tecniche di tamponature, tramezzature, infissi interni ed esterni, solai, travi, pilastri, impianti elettrici e termici e così via.

Contrariamente alla progettazione in ambiente CAD, in cui ci si limita alla redazione di tavole contenenti disegni bidimensionali formati da primitive grafiche prive di qualsiasi informazione prestazionale dell’elemento che rappresentano, con i software BIM, pur lavorando con una vista in pianta, si modella l’edificio automaticamente in maniera tridimensionale e soprattutto si ha la possibilità di sfruttare elementi infografici che simulano il reale comportamento del corrispondente elemento fisico.

Si edita, ad esempio, la tamponatura considerandola composta di un certo numero di strati, ognuno dei quali caratterizzato da un determinato spessore, densità, costo, colore e conducibilità termica (Fig. 25). Così come si possono definire le specifiche tecniche dei solai (Fig. 26) e le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo (Fig. 27).

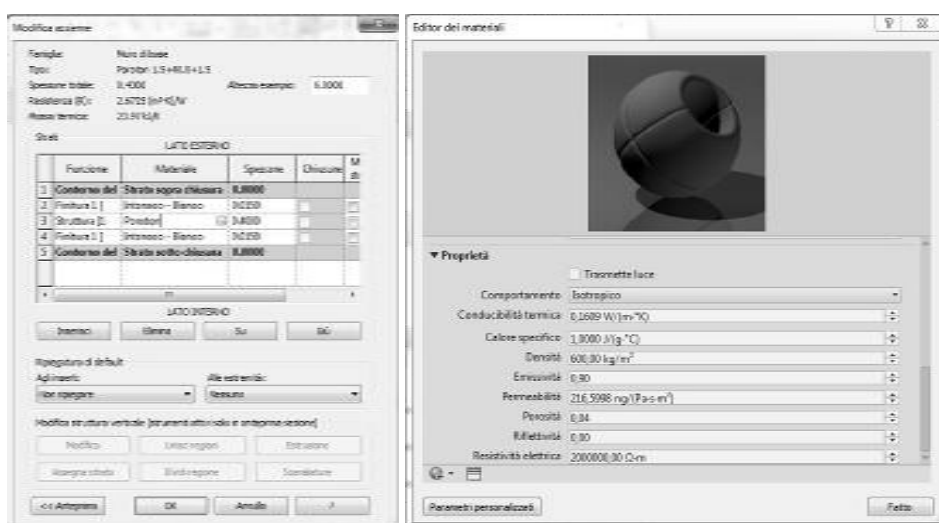


Fig. 25 Definizione delle caratteristiche geometriche e fisiche della tamponatura

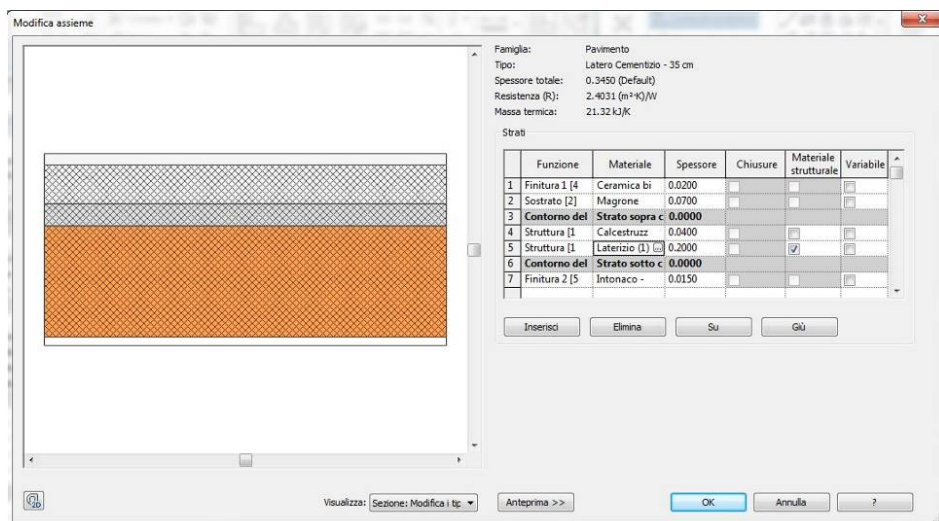


Fig. 26 Definizione delle caratteristiche geometriche, fisiche e meccaniche del solaio

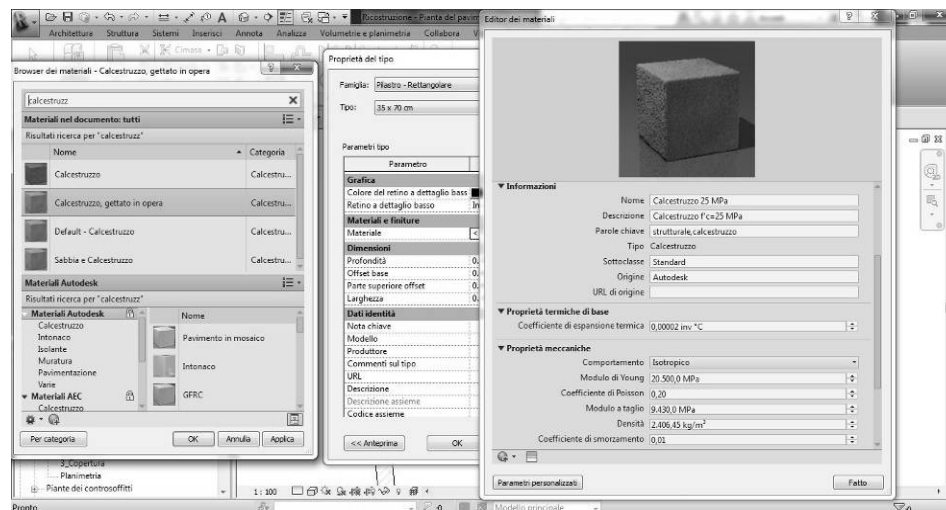


Fig. 27 Definizione delle proprietà meccaniche del calcestruzzo gettato in opera

Allo stesso modo si possono progettare e, quindi, modellare in bim anche impianti elettrici, termici e idraulici (Fig. 28) che concorreranno all'aggiornamento del database, sia per gli aspetti relativi al computo dei materiali e all'abaco degli elementi, sia per quelli riguardanti le successive analisi energetiche.

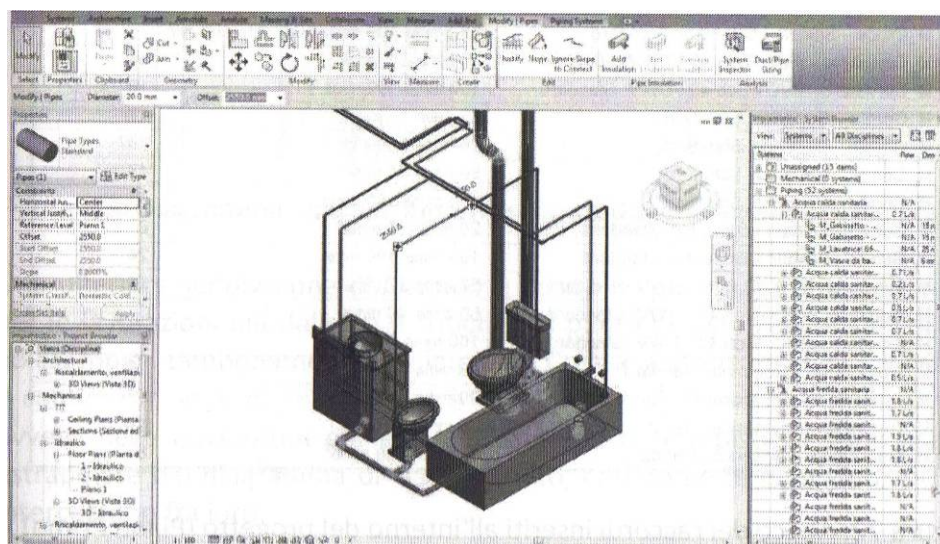


Fig. 28 Il modello bim di un impianto igienico-sanitario

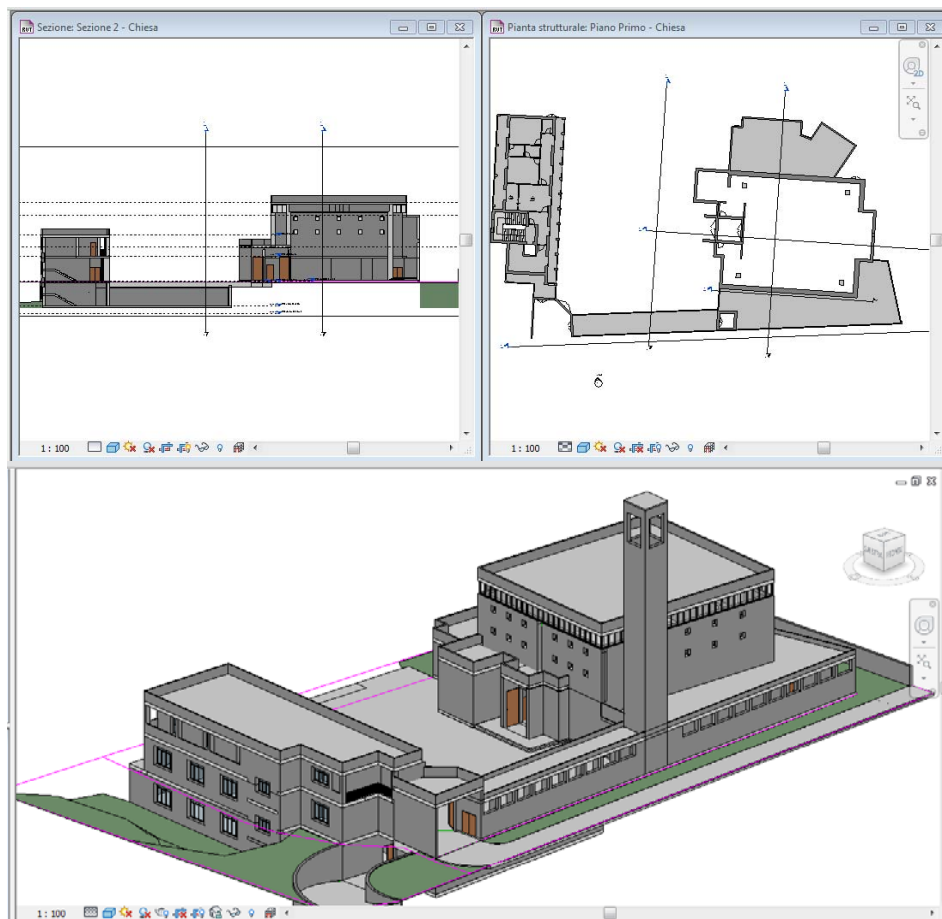


Fig. 29 Finestre di lavoro visualizzabili contemporaneamente in ambiente BIM

I benefici nell'impiego di software BIM non si limitano solamente agli aspetti grafico e tecnologico/architettonico propri della fase di progettazione. Infatti, anche alcuni programmi OOCAD, diffusi ormai da quasi vent'anni, consentono di modellare direttamente in tre dimensioni, mantenendo l'associatività delle modifiche in tutte le viste e la oggettiva coerenza di tutti gli elaborati prodotti in automatico. La potenza della metodologia di lavoro BIM, e quindi dei relativi software, sta nel poter modellare l'edificio in maniera esaustiva anche dal punto di vista strutturale ed energetico. In Revit, ad esempio, (ma la stessa cosa accade anche con altri prodotti BIM) l'inserimento di ele-

menti strutturali, come travi, pilastri, platee e solai, può essere accompagnato dalla definizione delle proprietà meccaniche dei materiali (calcestruzzo e acciaio), dei vincoli e dei carichi. In tal modo il modello bim è pronto per essere analizzato dal punto di vista strutturale nei software specialistici (Fig. 30) e dedicati a quello scopo, grazie a file di interscambio compatibili con la maggior parte delle software house.

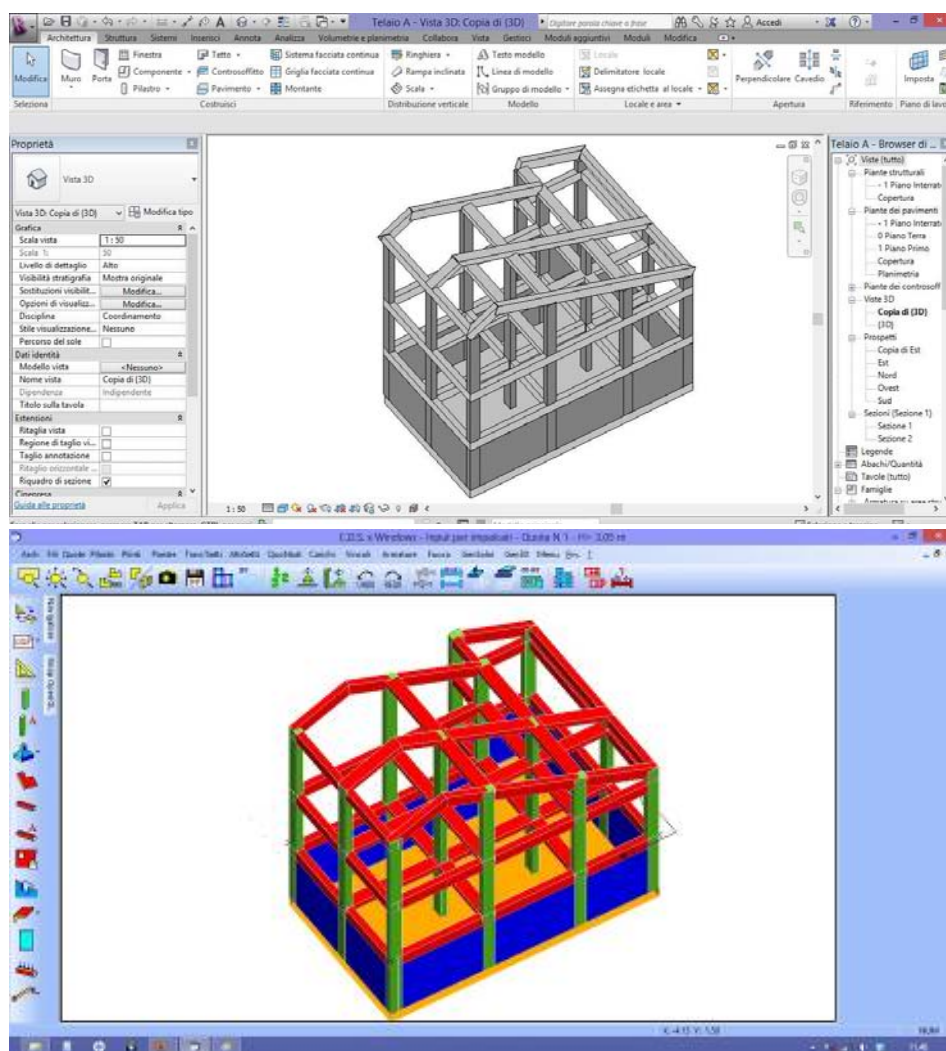


Fig. 30 In alto un modello strutturale in Revit, in basso lo stesso modello in CDSWin

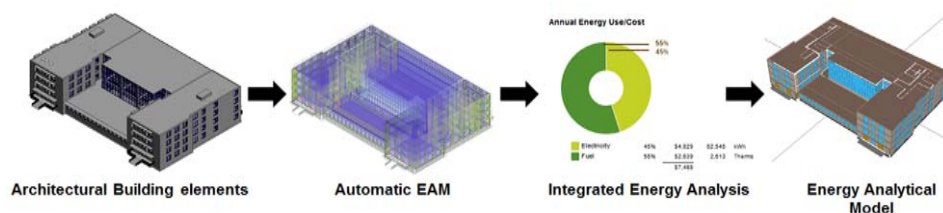


Fig. 31 Dal modello architettonico al modello energetico

Lo stesso discorso vale anche per le valutazioni energetiche. Con Revit è possibile analizzare termicamente l'involucro edilizio, gli apporti solari (grazie alla contestualizzazione territoriale) e lo studio delle ombre. Mediante link a software della stessa famiglia Autodesk (Green Building Studio, ad esempio) è possibile effettuare i calcoli energetici o, come per le strutture, esportare il modello energetico nei programmi dedicati (Fig. 31).

Tali passaggi risultano fondamentali sia per la qualità del progetto ma soprattutto per l'interoperabilità che si viene a creare tra le varie figure coinvolte nella progettazione, grazie all'uso di unico modello che minimizza gli errori di comprensione e può essere aggiornato e modificato all'occorrenza in qualsiasi momento, senza stravolgere l'intero lavoro fatto fino a quel momento.

Il modello bim ottenuto, inoltre, può essere ugualmente utilizzato nelle fasi di cantiere, andando di volta in volta ad aggiornare lo stato di avanzamento della costruzione e verificando la coerenza con i tempi ipotizzati in fase di progettazione. Può essere anche un utile strumento durante la vita del fabbricato stesso allorquando, ad esempio, si rendano necessari lavori di manutenzione o di ampliamento o di demolizione e ricostruzione parziale o totale.

3.5 L'INTEROPERABILITÀ DEI SOFTWARE BIM

Un vero processo progettuale e costruttivo basato sul Building Information Modeling consiste nel rendere 'open' la comunicabilità e lo scambio dati tra tutti gli attori coinvolti, dalla fase di progettazione a quelle di realizzazione, gestione e dismissione dell'edificio. Ciò è reso possibile grazie alla presenza di formati file (o estensioni) open source che permettono di esportare modelli bim da un software ad un altro a seconda delle esigenze del team di progettazione.

Si pensi, ad esempio, al caso delle valutazioni energetiche: con un software BIM si arricchisce il modello di tutte le informazioni necessarie al successivo calcolo (valori delle trasmittanze termiche e delle masse dei materiali, condizioni climatiche del sito, apporti solari, ecc.) che verrà implementato o nello stesso programma BIM o in altri software che avranno la necessità di importare solo i dati (geometrici, tecnici, tecnologici) di cui si servono per le elaborazioni.

Se mancasse la possibilità di uno scambio dati aperto e senza conflitti (o con un numero molto ridotto di errori dovuti all'esportazione) non sarebbe possibile attuare pienamente la metodologia del Building Information Modeling. All'interno di un team di progetto, infatti, i consulenti possono lavorare su modelli differenti, utilizzando vari software CAD, BIM e di calcolo. Per questa ragione, sin dall'introduzione dell'informatica nel mondo delle costruzioni, è nata l'esigenza di standardizzare i dati di interscambio. Gli 'open standard' sono affiorati alla fine degli anni Settanta del secolo scorso a seguito di un accordo tra le software house produttrici di CAD e le più grandi società di ingegneria e architettura.

A metà degli anni Ottanta la International Standards Organisation (ISO) ritenne che nessuno delle estensioni dei file esistenti era realmente in grado di rispondere alle esigenze di interoperabilità, non solo dell'industria delle costruzioni, ma anche e soprattutto dei settori industriali e manifatturieri. Ciò ha portato allo sviluppo di standard per lo scambio di dati (STEP).

Senza regole aperte di condivisione delle informazioni è indispensabile possedere i cosiddetti 'traduttori' ovvero altri software in grado di convertire file, con un notevole aumento delle operazioni di conversione. Una estensione file open, invece, diventa il filo diretto tra vari software, in quanto il salvataggio del file nello stesso software di origine, con un'altra estensione, consente la lettura in altri programmi dello stesso documento informatico. Oggi, all'interno del settore AEC, esistono due formati file aperti ben definiti, già ampiamente utilizzati e sempre in aggiornamento: il Green Building eXtensible Markup Language (gbXML) e l'Industry Foundation Classes (IFC). Il primo è un formato sviluppato per trasferire le informazioni necessarie per le analisi energetiche.



Fig. 32 Due dei più importanti 'open standard' impiegati nel settore AEC

Il secondo, invece, è un formato di dati che sta diventando lo standard per lo scambio di grandi quantità di dati (per modelli bim di grandi dimensioni e notevolmente complessi: ospedali, università, ecc.) e che riguarda informazioni sull'intero ciclo di vita del fabbricato: si va dallo scambio di informazioni di carattere computazionale, a quelle di carattere strutturale e manutentivo.

4. IL BIM SURVEYING

4.1 PREMESSE

Lo stato dell'arte sul Building Information Modeling finora descritto introduce ad uno degli aspetti più recenti ed innovativi ad esso associati, riguardante il tema del BIM Surveying, ovvero l'integrazione tra rilievi tridimensionali laser-scanner e modellazione bim ai fini della progettazione integrata di interventi sul costruito.

I sistemi di acquisizione tridimensionali sono già consueti in campo industriale già dalla fine degli anni Ottanta del secolo scorso, ma la loro applicazione nei settori delle costruzioni, dell'architettura e dell'ingegneria risale a meno di quindici anni fa quando furono messi in commercio strumenti più maneggevoli e relativamente economici. Da allora la crescita del settore è stata rapida e profonda.

Volendo intervenire, ad esempio, su un impianto industriale, la fase di rilievo tradizionale è influenzata dalle numerose variabili in gioco, quali il posizionamento delle macchine, l'elevato numero e le diverse dimensioni delle tubazioni, la curvatura delle condotte, le sovrapposizioni, le interferenze, ecc. Ciò si ripercuote, naturalmente, sulla fase di progettazione che, quindi, non sarà esente da errori o da imprecisioni. Per tale motivo, già da anni, il rilievo tridimensionale in questi ambiti è diventato prassi prima di ogni altra fase di intervento, in quanto la restituzione grafica del modello tridimensionale garantisce in ogni momento il perfetto controllo della realtà.

Diversamente, invece, avviene nel campo edilizio in cui, per il rilievo dei manufatti, gli strumenti tradizionali restituiscono dati che possiedono una precisione ancora accettabile per il settore e perciò, ancora oggi, il rilievo tradizionale diretto per il costruito, in molti ambiti applicativi, prevale su quello indiretto con laser-scanner.



Fig. 33 Un laser-scanner a tempo di volo per il rilievo di grandi dimensioni

Negli ultimi anni questa tendenza è andata ampliandosi quando ci si è resi conto che, soprattutto in presenza di fabbriche antiche – non caratterizzate, quindi, da geometrie immediatamente discretizzabili o difficili da rilevare con accuratezza (si pensi agli edifici a rudere) – l’impiego di tecnologie laser risulta sempre più vantaggioso.

Considerando, poi, che la metodologia BIM determina numerosi vantaggi per la progettazione e, in generale, per l’intero ciclo di vita di un nuovo edificio, si è pensato di studiare una possibile integrazione delle due discipline per un ulteriore avanzamento tecnologico e di processo. Ad oggi, però, non sono ancora del tutto chiari e scientificamente condivisi i benefici, in termini economici e qualitativi, dell’impiego del BIM Surveying per il patrimonio storico ma molto si è già fatto per la sua applicazione in ambito industriale ed infrastrutturale.

Il presente capitolo descrive e illustra il workflow alla base del BIM Surveying, analizzandone vantaggi e svantaggi dell’impiego nei settori più ‘standardizzati’ (quali quelli, appunto, industriali). Un paragrafo a parte è dedicato al BIM Surveying per l’edilizia storica (connotata da aspetti molto differenti rispetto ad altri settori), ambito di cui il presente lavoro di ricerca si occupa più approfonditamente presentando casi studio mirati nel quinto e ultimo capitolo.

4.2 IL LASER-SCANNING: RILIEVO 3D E RESTITUZIONE

Il laser scanning è uno dei metodi più rapidi, precisi e innovativi per il rilievo indiretto, e negli ultimi anni sta conquistando sempre maggiori utenti di ogni settore produttivo. Infatti, come si evince nella figura 34, nell'arco dell'ultimo cinquantennio l'apprezzamento dei clienti e la qualità dei dati prodotti sono cresciuti in modo esponenziale in concomitanza all'abbattimento dei costi e della durata delle operazioni di scansione.

La tecnologia utilizzata dagli attuali laser-scanner, operando in modo quasi automatico, consente di acquisire digitalmente oggetti tridimensionali di varie dimensioni sotto forma di "nuvole di punti". L'acquisizione automatizzata annulla la preventiva operazione di discretizzazione, propria del rilevamento diretto o con stazione totale, che impone una conoscenza a priori degli elementi da rilevare. Riducendo la distanza tra i punti acquisiti a valori molto piccoli (nell'ordine del centimetro o del millimetro) è possibile rilevare interi oggetti nella loro forma complessiva, senza bisogno di ridurle a linee individuate da predeterminati piani di sezione orizzontale e verticale.

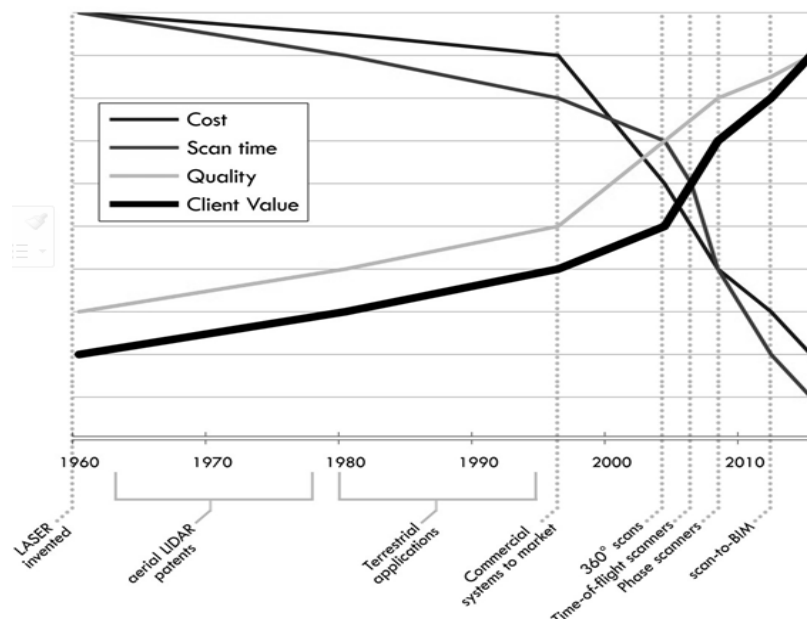


Fig. 34 Sviluppo della tecnologia laser-scanner

I sistemi di acquisizione 3D attivi sono articolati e differenziati in funzione del principio di funzionamento. In particolare, all'interno della famiglia dei laser-scanner utilizzati per il rilievo dell'architettura e del territorio, vi è la distinzione tra gli scanner a differenza di fase (Range Image Laser) e quelli a tempo di volo (Time Of Flight). Queste due tecnologie di strumentazione si differenziano per il principio di acquisizione, per la precisione ottenibile, per la portata e per la velocità di acquisizione. I laser-scanner a tempo di volo garantiscono una precisione fino ai 5 millimetri e una portata massima che varia tra gli 800 e i 1000 metri. I laser-scanner a differenza di fase, invece, raggiungono una precisione maggiore (fino ai 2 millimetri) ma hanno una portata più limitata che raggiunge al massimo i 300 metri.

I TOF sono caratterizzati da un principio di acquisizione che consente di calcolare le coordinate dei punti dell'oggetto rilevato misurando il tempo che il raggio laser emesso impiega per ritornare alla fonte dopo aver colpito l'oggetto. Il funzionamento dei RIL si basa, invece, sull'emissione di una radiazione ottica caratterizzata da una certa lunghezza d'onda: lo strumento interpreta la differenza di fase tra l'onda emessa e quella ricevuta per acquisire la posizione dei punti.

Il rilievo indiretto con laser-scanner comporta un impegno notevole nella fase di post-processamento dei dati acquisiti dallo strumento (Fig. 35), rispetto, invece, al rilievo diretto di tipo tradizionale che richiede tempi considerevoli durante le misurazioni in situ. Inoltre, fornisce dati geometrici e, all'occorrenza, colorimetrici molto rigorosi del manufatto oggetto di analisi.

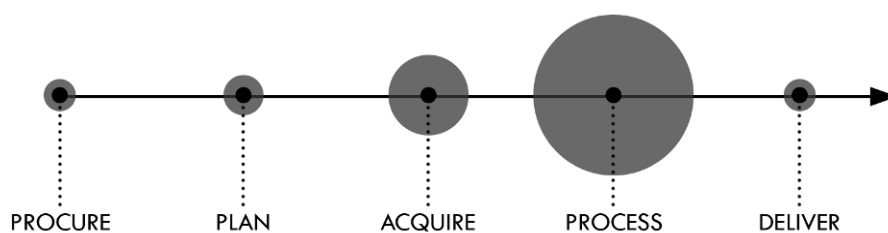


Fig. 35 Livelli di impegno nel processo di rilievo con laser-scanner

Le informazioni associate ad ogni punto rilevato con laser-scanner sono di tipo metrico e ne determinano la posizione nello spazio con margini di errore inferiore al centimetro; oltre alla posizione del punto, la maggior parte dei laser-scanner acquisisce un altro dato, denominato riflettanza che indica la quantità di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere e che può determinare anche il colore con il quale il punto acquisito è rappresentato.

Il prodotto finale delle scansioni, come detto, è una nuvola di punti che ricostruisce la forma complessiva dell'oggetto attraverso la visualizzazione delle sue superfici acquisite. In particolare, nella scelta dell'impostazione di scansione, il primo parametro da considerare è l'inquadratura del campo visivo che deve essere relazionato alla distanza tra lo strumento e l'oggetto da rilevare, all'angolo della scansione, alla velocità di emissione del raggio laser, nonché alle caratteristiche morfologiche della superficie da scansionare.

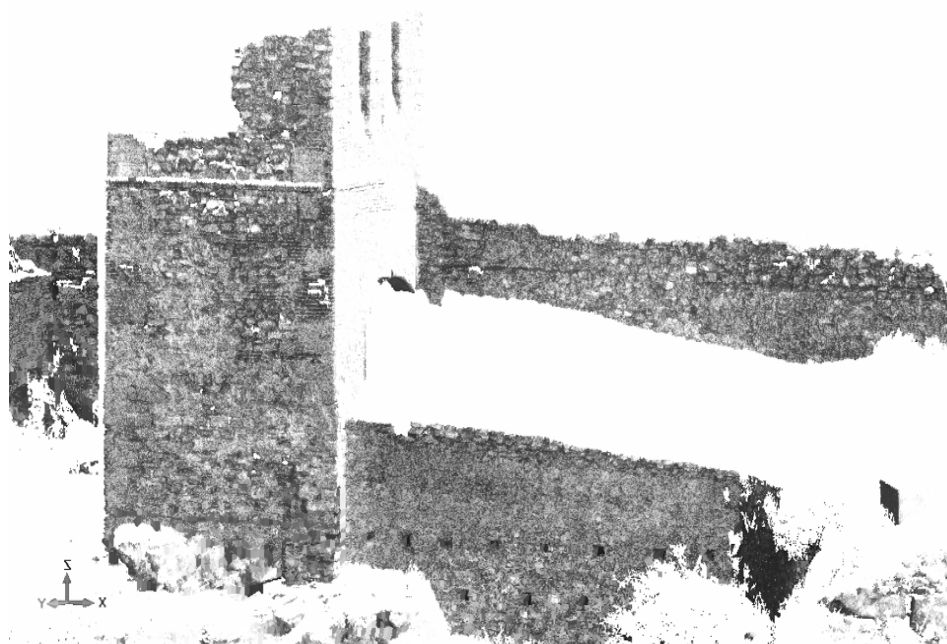


Fig. 36 La nuvola di punti della torre di ingresso di un castello

Nel caso di un rilevamento con laser-scanner occorre un accurato progetto preliminare delle fasi di rilievo al fine di verificare le caratteristiche geometrico-dimensionali del manufatto e l'accessibilità ai luoghi. Immaginando di paragonare lo scanner ad una sorgente luminosa, si devono prevedere sufficienti punti di acquisizione in modo da coprire tutti i coni d'ombra che superfici sporgenti, sottosquadri, rientranze e impedimenti vari inevitabilmente proiettano. Nel calcolo preventivo della densità finale dei punti acquisiti, inoltre, bisogna considerare che la sovrapposizione di più scansioni aumenta la densità dei punti della nuvola e tale sovrapposizione deve essere pari a circa un terzo della superficie acquisita, al fine di garantire un sufficiente margine di registrazione finale.

L'acquisizione dei dati sul campo con il laser-scanner viene effettuata molto rapidamente rispetto, ad esempio, ad un rilievo diretto tradizionale che fa uso di strumenti come il doppio metro, la rollina e il filo a piombo; viceversa, richiede tempi ben più lunghi ed un procedimento accurato la successiva fase di elaborazione dei dati al computer, il cosiddetto post-processamento, per il quale vengono impiegati software di reverse engineering dedicati alla gestione delle nuvole di punti.

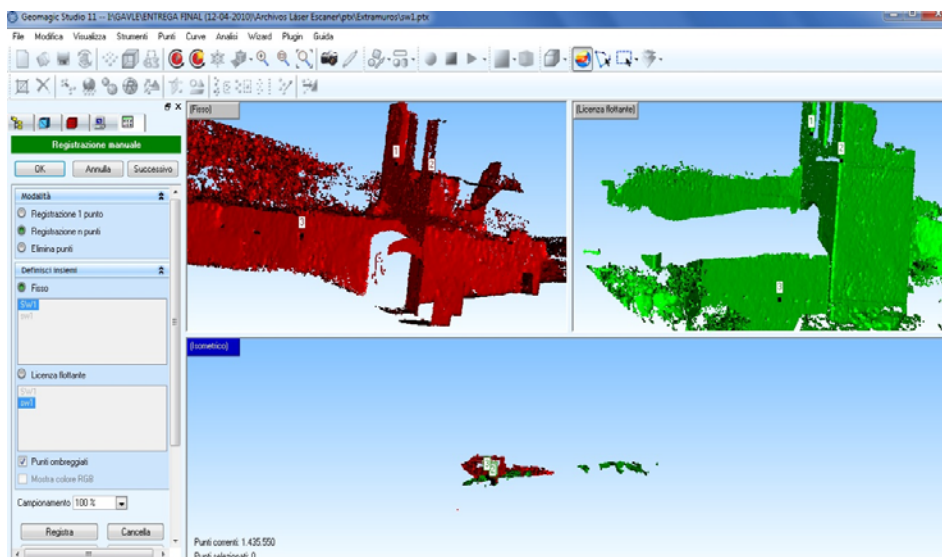


Fig. 37 Registrazione manuale di due scansioni con software di reverse engineering

Questi programmi, oltre a consentire di disegnare ed elaborare figure vettoriali (punti, linee, superfici) all'interno di un sistema di coordinate spaziali, permettono innanzitutto di ricomporre le varie nuvole di punti che sono il prodotto delle varie scansioni dello stesso manufatto effettuate da differenti punti di vista, mediante la procedura di allineamento o registrazione. Tale fase può essere condotta manualmente, individuando almeno tre coppie di punti omologhi su due scansioni successive del manufatto (appunto nella regione di sovrapposizione di cui si è parlato) oppure, mediante l'impiego di target durante la fase di rilievo, è possibile alleggerire il lavoro facendo gestire al software (in maniera comunque controllata e non senza interventi da parte dell'operatore) la fase di allineamento. Prima di procedere alla registrazione, occorre però effettuare operazioni di pulizia del rumore e di decimazione delle nuvole di punti al fine di eliminare quei punti fuori posto o in eccesso.

Per ottenere modelli tridimensionali ancora più rispondenti agli oggetti reali è possibile, inoltre, integrare il rilievo tridimensionale con le tecniche di fotogrammetria digitale. La maggior parte degli apparecchi laser in commercio sono dotati di una camera interna che acquisisce immagini fotografiche. Gli stessi software di reverse engineering consentono di allineare le coordinate dei pixel delle fotografie con quelle dei punti rilevati, 'spalmando' quindi la fotografia sul modello 3D.



Fig. 38 Il modello completo a nuvola di punti di un castello

In alternativa, si possono produrre immagini fotografiche digitali utilizzando camere non integrate al laser-scanner. In questo caso la procedura di allineamento dei fotogrammi al modello 3D a nube di punti risulta più laboriosa ma si possono ottenere immagini con maggior risoluzione.

Il modello tridimensionale prodotto dell'oggetto rilevato servirà come strumento di lettura e di analisi di tutti gli aspetti acquisiti e indagati: volumetrici, materici, strutturali, di distribuzione degli spazi interni, cronologici. È da considerare anche come un indispensabile strumento per la progettazione di interventi di manutenzione, di recupero, di restauro, di rifunzionalizzazione grazie al fatto di poter interrogare in qualsiasi momento il modello potendo ricavare molto velocemente e riducendo gli errori degli elaborati grafici tradizionali (piante, sezioni e prospetti), le misure di distanze, angoli e volumi, i materiali presenti (grazie alla colorazione della nuvola di punti per mezzo della fotogrammetria), ecc.



Fig. 39 Nuvola di punti texturizzata ad alta risoluzione

4.3 MODELLAZIONE E PROGETTAZIONE BIM PER IL COSTRUITO

L'applicazione della tecnologia di scansione laser è molto nota nell'industria geospaziale, automobilistica, meccanica, siderurgica e, in generale, in tutti i campi in cui si necessita di grande precisione. I numerosi progressi della tecnologia (hardware e software) legati sia al laser-scanning che al Building Information Modeling stanno contribuendo ad inaugurare un nuovo scenario di approccio progettuale e processuale per il settore edilizio. Il BIM Surveying diventerà a breve un valore aggiunto per il workflow legato agli interventi sul patrimonio edilizio esistente, soprattutto se si tratta di opere di una certa complessità e di elevata rilevanza architettonica, storica e culturale.

La conversione delle nuvole di punti provenienti da scansioni tridimensionali in modelli bim si attua attraverso un processo costituito prevalentemente da tre fasi (Fig. 40): in primo luogo si effettua l'operazione di rilievo con strumentazione laser-scanner; in secondo luogo, nella cosiddetta fase di post-processamento dei dati, si registrano le singole scansioni per realizzare il modello tridimensionale a nuvola di punti completo del manufatto; infine, si modella l'oggetto in ambiente BIM (connotandolo, come visto, di tutte le specifiche tecniche necessarie alle successive fasi di progettazione degli interventi) avendo come 'guida' la nuvola di punti del fabbricato stesso.

Ad una prima analisi del processo sopra descritto, sembrerebbe troppo macchinoso ed economicamente poco conveniente adottare una simile innovazione al processo progettuale sul costruito (sia esso architettonico, infrastrutturale, industriale, ecc.) se si pensa che nella pratica corrente tradizionale il rilievo è condotto in maniera diretta, la restituzione viene effettuata prevalentemente al CAD e la progettazione si basa su elaborati grafici bidimensionali e su relazioni e report cartacei, il tutto ormai sedimentato e 'rodato' da tempo.

Il BIM Surveying, invece, ha come obiettivo principale quello di fornire al team di progettisti non solo una serie di elaborati grafici bidimensionali (e tridimensionali) di un edificio su cui intervenire, bensì il suo corrispondente modello bim (portatore di tutti i benefici descritti nei capitoli precedenti) dimensionalmente corretto grazie al rilievo con laser-scanner.

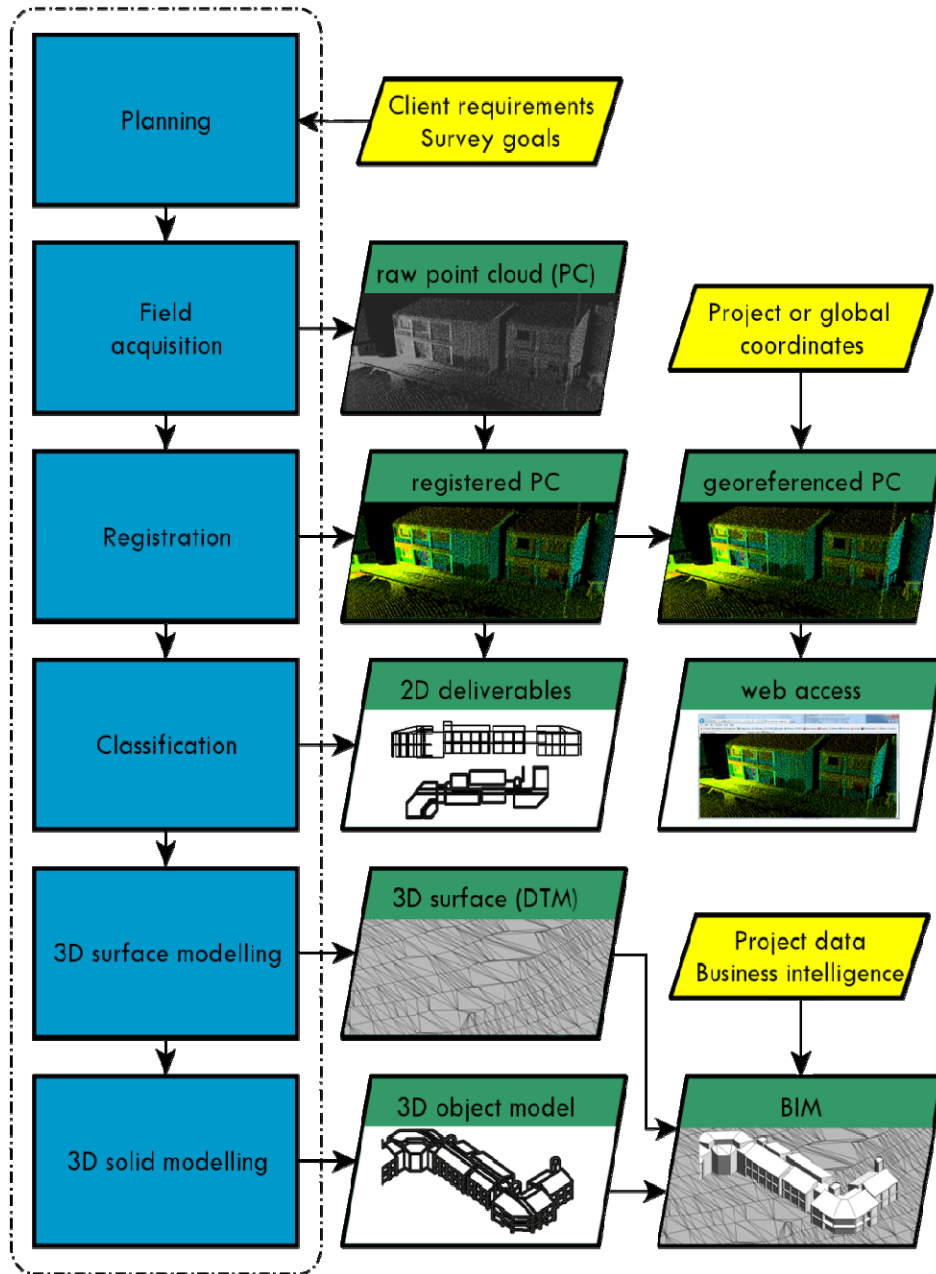


Fig. 40 BIM Surveying workflow

Il modello 3D può essere utilizzato come validatore delle scelte progettuali architettoniche, la quarta dimensione sfruttata per estrapolare informazioni relative al tempo di realizzazione degli interventi, la quinta dimensione dà indicazioni sui costi e l'ultima, ma non meno importante, dimensione (la sesta) indispensabile per il facility management.

È chiaro, dunque, che i tradizionali elaborati al CAD non possono fornire così tante informazioni e la gestione tradizionale del ciclo di vita di un manufatto (sia esso un edificio commerciale o residenziale, una fabbrica storica o un impianto industriale) è oltremodo complessa, poiché essenzialmente basata su documenti cartacei.

A tali scopi, sia le più note software house che alcuni appassionati programmatori informatici hanno implementato plug-in (in continuo aggiornamento e molti ancora in fase sperimentale) che si interfacciano con i più comuni programmi BIM in commercio per rendere l'operazione di 'trasformazione' della nuvola di punti in modello bim più agevole e rigorosa. Si citano, ad esempio, Scan-to-BIM (Fig. 41) della IMAGINiT Technologies o Leica CloudWorx della Leica Geosystems o GrennSpider dei laboratori di sperimentazione digitale della TC Project, società di ingegneria e architettura tutta italiana.

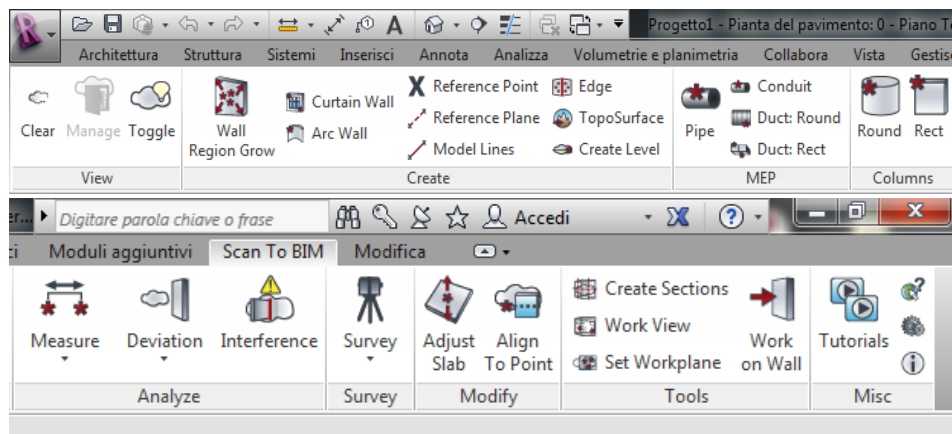


Fig. 41 Barra multifunzione del plug-in Scan-to-BIM in ambiente Revit

Lo scopo è quello di rimodellare in modo parametrico l'intero manufatto rilevato, mantenendo il rilievo laser-scanner e i dati fotogrammetrici come una sorta di 'impalcatura' per gli oggetti bim²³. Gli applicativi citati aiutano i tecnici ad individuare, all'interno di un modello tridimensionale a nuvola di punti, elementi geometricamente e tipologicamente ascrivibili a muri, solai, elementi strutturali, superfici topografiche e condotte impiantistiche che, semi-automaticamente, trasformano in oggetti 'intelligenti' bim, per i quali occorre (in seconda analisi) definire le specifiche tecniche. Come si evince dalle immagini seguenti, Scan-to-BIM (implementato in ambiente Revit) consente, ad esempio, di individuare sulla nuvola di punti, mediante il comando 'Wall Region Grow', le superfici coincidenti con le murature, una volta che l'operatore ha definito tre punti appartenenti al piano desiderato (Fig. 42); per mezzo del comando 'Curtain Wall' gli infissi esterni, una volta perimetrati i vani che li ospitano (Fig. 43); con il comando 'Pipe' le condotte impiantistiche, dopo aver selezionato, per ciascuna di esse, una piccola porzione di nuvola di punti (Fig. 44).

In questo modo l'applicativo riconosce in automatico le dimensioni che caratterizzano tali oggetti e genera il corrispondente oggetto parametrico bim che, come detto, andrà caratterizzato dal punto di vista tipologico.

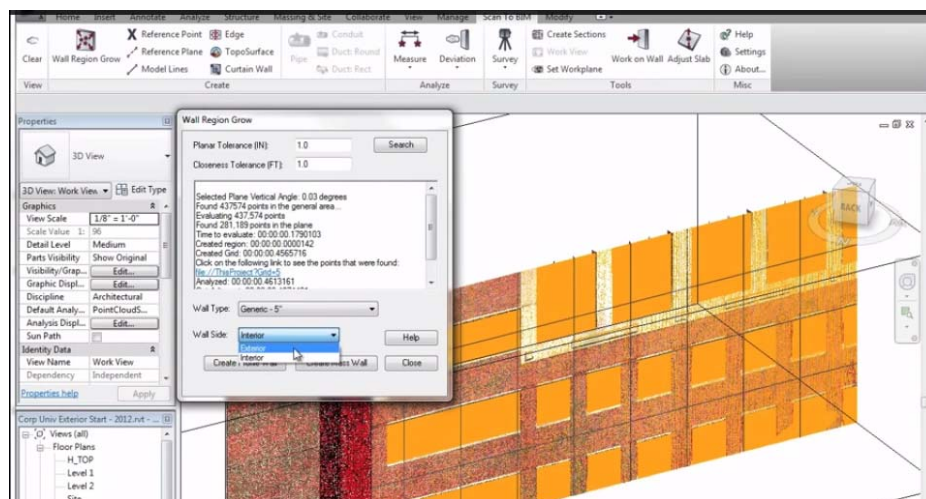


Fig. 42 Modellazione automatica di una muratura sfruttando la nuvola di punti

²³ Garagnani S., *op. cit.*, p. 299

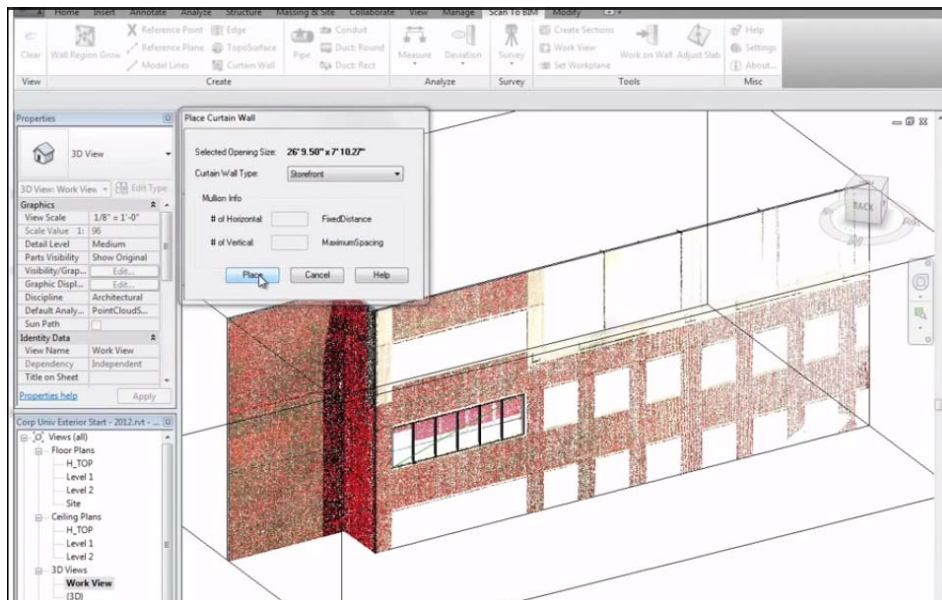


Fig. 43 Modellazione automatica di un infisso esterno sfruttando la nuvola di punti

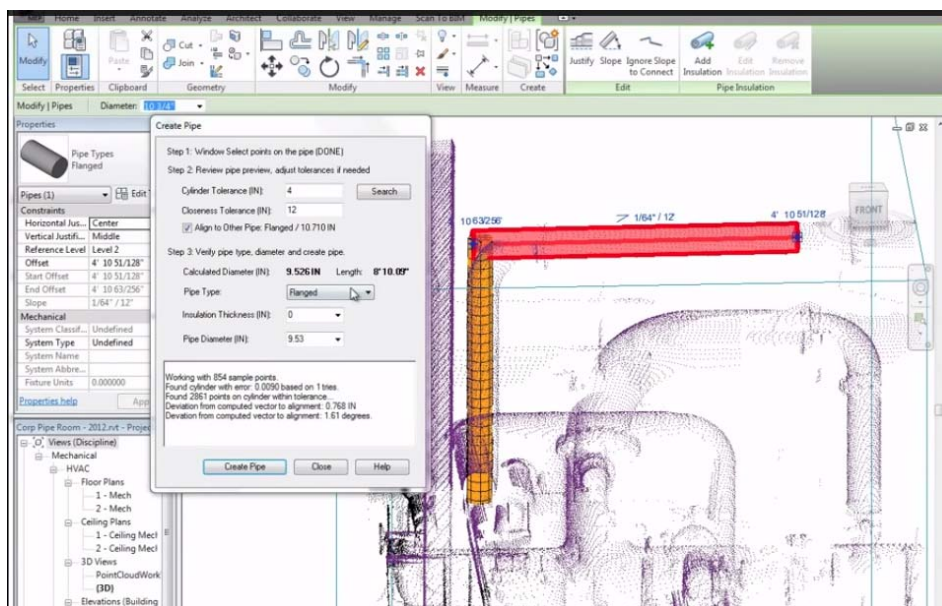


Fig. 44 Modellazione automatica di una tubazione sfruttando la nuvola di punti

Il BIM Surveying si sta diffondendo soprattutto all'interno di quegli ambiti caratterizzati da elementi standardizzati e di facile modellazione – le infrastrutture (Fig. 45), l'edilizia e gli impianti industriali (Fig. 46), l'edilizia residenziale moderna e contemporanea (Fig. 47) – che vedono la presenza di geometrie semplici e tutte riconducibili ad oggetti bim, nella maggior parte dei casi, già presenti nelle librerie o nei database dei singoli software BIM.

In questo modo, un modello bim che riproduce fedelmente – in maniera informatica – la realtà, dà la possibilità di interfacciarsi in maniera completamente differente con gli interventi di progetto sul costruito. Evitare di tornare più volte sui luoghi oggetto di trasformazione per acquisire informazioni metriche, tecnologiche e costruttive non sempre rilevate con completezza la prima volta con i metodi tradizionali, prendere decisioni progettuali basate non solo su un numero limitato di grafici bidimensionali bensì su un modello tridimensionale parametrico, effettuare in itinere valutazioni preliminari di carattere computativo, prestazionale ed economico, consentono ai tecnici coinvolti di impostare con maggior efficienza le fasi di progettazione, di realizzazione degli interventi e di manutenzione.

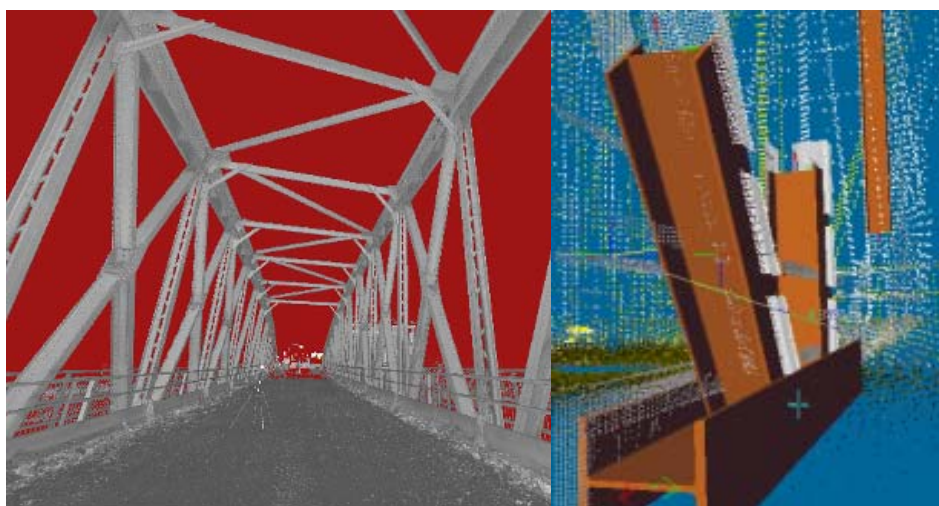


Fig. 45 BIM Surveying di un ponte in acciaio: rilievo laser-scanner e modellazione bim

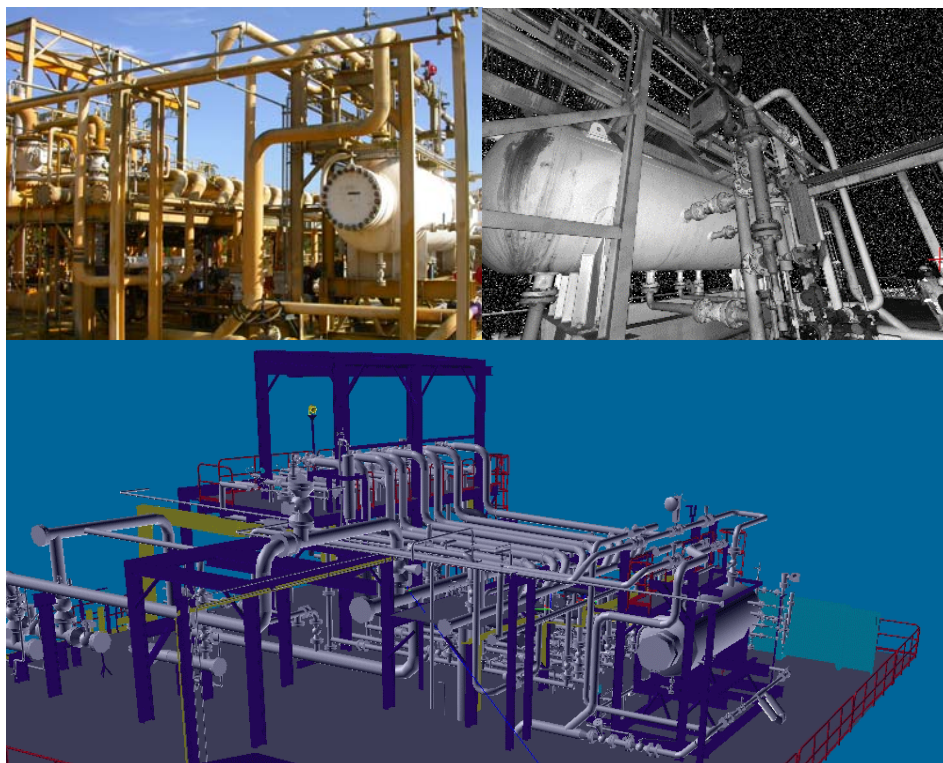


Fig. 46 BIM Surveying di un impianto industriale. Da sinistra: foto dell'impianto, modello a nuvola di punti, modello bim

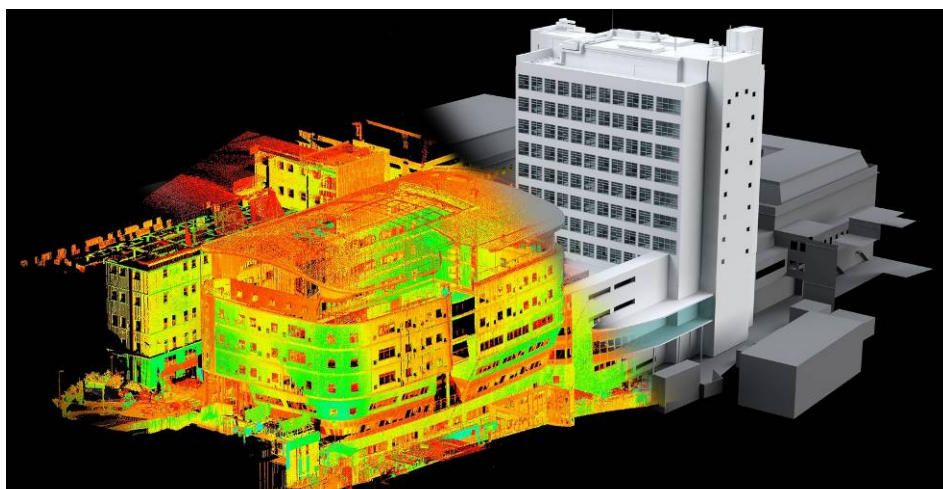


Fig. 47 BIM Surveying di edifici residenziali e commerciali

4.4 CRITICITÀ DEL BIM SURVEYING PER L'EDILIZIA STORICA

L'enorme patrimonio edilizio storico che abbiamo ricevuto in eredità è un bene da preservare e rivalorizzare con interventi mirati e di ampio respiro. Spesso assistiamo – consapevolmente – alla lenta ed irrimediabile rovina di splendide fabbriche antiche che, oltre ad essere veri e propri gioielli di architettura, sono portatrici di valori culturali, storici e sociali. I temi del recupero, della conservazione, della rifunzionalizzazione, del restauro e della riconversione di questi edifici antichi sono quanto mai attuali non solo perché molti di essi sono considerati beni architettonici (e, quindi, per l'accezione stessa di 'bene' sono portatori di interessi economici) – come musei, chiese, monasteri e quant'altro – ma anche perché la maggior parte di essi, soprattutto quelli in stato di abbandono, possono ritornare a nuova vita per ospitare, ad esempio, biblioteche, uffici, residenze e così via.

La Comunità Europea è da sempre sensibile alle tematiche sopra accennate e, a tali scopi, destina costantemente ingenti risorse economiche per la redazione di progetti di recupero (in senso lato) e di esecuzione degli interventi. Spesso, però, gli Enti Pubblici non sono in grado di recepire tali finanziamenti perché – tra le tante cose – non sono capaci di proporre in tempi contratti progetti di buona qualità né di bandire gare di appalto esenti da inesattezze. Ad esempio, le più ricorrenti approssimazioni che si riscontrano all'interno della documentazione allegata ai bandi per l'affidamento degli incarichi di progettazione e/o di esecuzione dei lavori riguardano proprio gli elaborati grafici. Proporre un bando su un progetto preliminare nato male produce inevitabilmente una progettazione definitiva ed esecutiva imprecisa specialmente nei dimensionamenti, nei computi, nelle offerte economiche. Tutto ciò si traduce, quindi, in una scarsa qualità degli interventi, in tempi di esecuzione dilatati e in onerosi contenziosi tra stazioni appaltanti e imprese o tecnici.

Uno dei possibili contributi al perfezionamento del processo progettuale, esecutivo e gestionale/manutentivo può essere certamente rappresentato da una corretta e puntuale pianificazione degli interventi basata, tra le altre cose, sul Building Information Modeling e su validi rilievi con laser-scanner. Il

tutto potrebbe confluire in una ‘catalogazione’ informatizzata (basata su modelli bim) dell’edilizia storica su cui focalizzare le risorse in modo da produrre progetti più economici, di alta qualità e in tempi più ristretti. Il BIM Surveying dell’edilizia storica, però, non è esente da ‘contraddizioni’ né da resistenze (oltre che normative, culturali ed economiche di cui si è parlato) proprie della modellazione parametrica.

Gli edifici antichi sono connotati, infatti, da elementi costruttivi e tecnologici difficilmente riconducibili a forme standardizzate, spesso unici, caratterizzati da specifiche tecniche che variano di volta in volta. Basti pensare alle strutture in muratura che non solo sono arricchite – in molti casi – da lesene, paraste, cornici e architravi, ma variano nelle dimensioni (sia in pianta che in sezione) e nelle caratteristiche strutturali ed energetiche da piano a piano e da zona a zona, sono composte da archi e volte differenti tra di loro, da solai variamente realizzati, e così via.

Volendo realizzare un modello bim scrupoloso e molto dettagliato di un edificio storico si incontrerebbero non pochi problemi. Si prenda come riferimento una chiesa che, tra le molteplici unicità architettoniche e strutturali, è caratterizzata dalla presenza di colonne ed archi. Il rilievo tridimensionale realizzato con laser-scanner produce una nuvola di punti rappresentativa dell’intero edificio in questione, cogliendo con assoluta fedeltà ogni minimo particolare. Ma la relativa modellazione bim non sempre risulta di facile implementazione. Il modello infografico ‘intelligente’ di una colonna (Fig. 48), ad esempio, deve tener conto di una serie di elementi quali la base, il fusto e il capitello, ognuno, a sua volta, minuziosamente rifinito. Il lavoro di modellazione potrebbe risultare, quindi, dispendioso e di conseguenza poco conveniente.

Tutto ciò potrebbe, invece, semplificarsi con la messa a punto di una grande libreria di oggetti bim caratteristici dell’edilizia storica e dotati di tutti quei parametri che, se editati correttamente, possono restituire in maniera fedele gli elementi di cui si necessita.

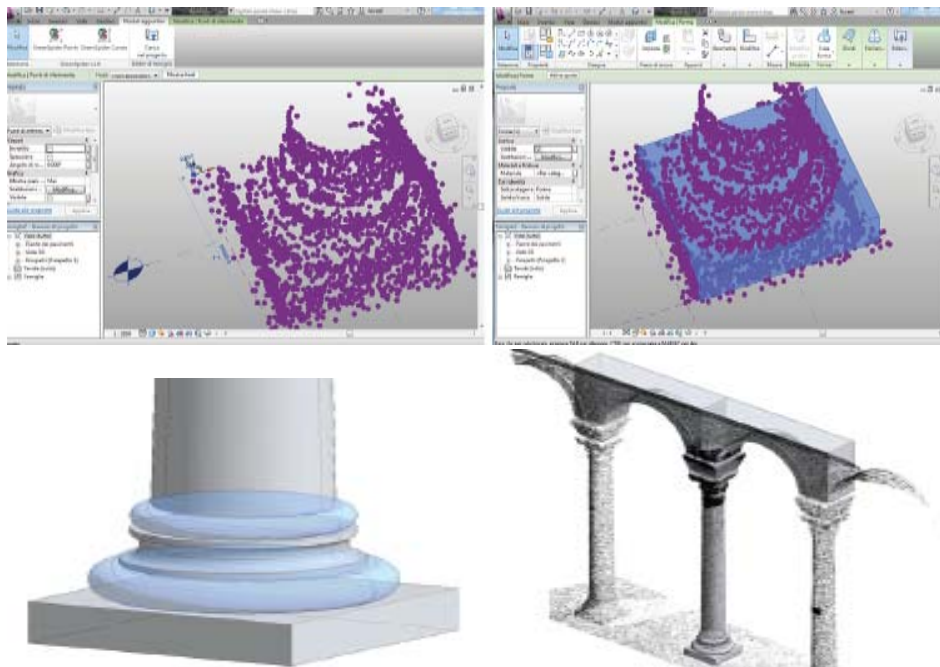


Fig. 48 Step della modellazione bim di una colonna. Dall'alto: nuvola di punti del rilievo della base importata in Revit; modellazione sulla nuvola di punti; oggetto bim; sovrapposizione del rilievo laser-scanner al modello bim

Anche per le murature non è sempre possibile definire una o più sezioni 'tipo' da impiegare per il modello, così come invece accade per un edificio di recente costruzione o da progettare *ex novo*. E in questo caso, come si vedrà meglio nel successivo capitolo, risulta di fondamentale aiuto la presenza della nuvola di punti in ambiente BIM.

Queste ed altre problematiche sono trattate nel quinto e ultimo capitolo che riguarda l'implementazione del BIM Surveying su due edifici storici assunti a casi studio: una caserma militare e un castello. Per entrambi i casi sono stati messi in evidenza i benefici e gli svantaggi del BIM Surveying nei confronti dei metodi tradizionali di rilievo diretto e di restituzione al CAD, comunque applicati ai casi studio.

I primi risultati degli studi affrontati hanno, quindi, l'obiettivo di evidenziare l'efficienza e l'efficacia del Building Information Modeling anche per il costruito storico, pur consapevoli che rispetto ai modi e agli strumenti consolidati per il progetto di recupero (nell'accezione più ampia del termine), il BIM e il relativo modello rappresentano un approccio completamente differente alla gestione del processo progettuale.

5. APPLICAZIONE DEL BIM SURVEYING SUI CASI STUDIO

5.1 PREMESSE

Nei capitoli precedenti è stato trattato il tema del Building Information Modeling sia dal punto di vista metodologico che dal punto di vista applicativo. Mediante l'analisi dello stato dell'arte sul tema, sono stati messi in evidenza i benefici, nonché i punti di debolezza del BIM nell'ambito del processo edilizio per le nuove costruzioni. Nel quarto capitolo è stato introdotto un nuovo possibile indirizzo di sviluppo per la progettazione parametrica ed integrata, che vede la sua applicazione alle costruzioni esistenti (siano esse di tipo residenziale, industriale, storico-monumentale, infrastrutturale): il BIM Surveying. Quest'ultimo sfrutta tutte le potenzialità del Building Information Modeling contestualmente ai vantaggi offerti dai rilievi tridimensionali con laser-scanner, diventati quasi indispensabili nelle attività che riguardano il patrimonio edilizio storico.

Il presente capitolo descrive la parte sperimentale degli studi e delle ricerche condotte durante l'esperienza del Dottorato mettendo in luce, inoltre, alcune differenze riscontrate tra il workflow progettuale tradizionale per gli interventi sul costruito storico rispetto a quello basato sul BIM Surveying. A tal scopo, nell'ambito di un laboratorio congiunto tra le Discipline dell'Architettura Tecnica e del Rilievo dell'Architettura, sono stati individuati, come casi studio, due edifici: il Padiglione militare della ex Caserma 'Sacchi', a Caserta, risalente alla prima metà del XIX secolo, e il Castello di Francolise, in Provincia di Caserta, del XIII secolo.

Il primo è stato scelto per le dimensioni considerevoli che lo caratterizzano e che ben si prestano ai confronti sulle tecniche di rilievo, diretto e indiretto, impiegate; il Padiglione, inoltre, presenta elementi costruttivi e tecnologici connotati da forme non particolarmente articolate, che consentono una più agevole modellazione infografica tridimensionale in ambiente BIM. Il secondo caso studio, individuato per testare i primi risultati ottenuti, è stato in-

dividuato perché, a differenza del Padiglione militare, è connotato da dimensioni più contenute ma al tempo stesso da forme più complesse e articolate, per le quali la modellazione tridimensionale ha richiesto maggior attenzione.

Gli obiettivi di questa fase riguardano, quindi, la valutazione dell'applicabilità del BIM Surveying all'edilizia storica e il confronto dei due procedimenti adottati, effettuato mediante l'individuazione di alcune variabili quali il numero di persone coinvolte, il tempo impiegato per le diverse attività, la qualità e la tipologia dei dati elaborati e prodotti. Questo lavoro costituisce un punto di partenza di un lavoro più ampio finalizzato allo sviluppo di un 'cultural heritage smart cataloguing' del patrimonio storico. Una catalogazione infografica sempre disponibile, interrogabile, implementabile e, soprattutto utilizzabile per la progettazione degli interventi di recupero e che permetta, quindi, alle Amministrazioni e agli Enti Pubblici, ai privati, ai progettisti e alle imprese, di gestire il processo edilizio in maniera più efficiente rispetto a quanto accade oggi.

La proposta di una 'catalogazione intelligente del patrimonio storico' nasce da alcune considerazioni in merito alle difficoltà che si riscontrano durante l'intero processo tecnico-amministrativo (dalla progettazione degli interventi all'aggiudicazione della gara, dalla realizzazione dei lavori alla gestione delle risorse economiche) volto al recupero delle fabbriche antiche. In molti casi, infatti, i tempi troppo contratti, i dati, le informazioni e i grafici di rilievo spesso incompleti o imprecisi forniti dalla committenza (perlopiù pubblica, in questi contesti) per consentire ai soggetti interessati di presentare istanze di partecipazione alle gare di progettazione, producono inevitabilmente inesattezze o errori che si ripercuotono, poi, nelle fasi esecutive traducendosi, di fatto, in ritardi, perdite economiche e deficit qualitativi dell'intervento. Invece, avendo, già a disposizione una banca dati informatica sullo stato di fatto dell'edificio oggetto di intervento (un modello bim, appunto) si fornirebbe al team di progettisti uno strumento che, se correttamente gestito, apporterebbe notevoli vantaggi all'intero iter.

5.2 DESCRIZIONE DEI WORKFLOW ADOTTATI

Per entrambi i casi studio scelti sono stati adottati due processi, quello tradizionale e quello del BIM Surveying (Fig. 49). I due workflow consentono di ottenere quell'insieme di informazioni che si rendono necessarie per intraprendere il processo di progettazione degli interventi sul costruito. Si tratta, per il metodo tradizionale, dei grafici bidimensionali (piante, sezioni e prospetti) elaborati in ambiente CAD e derivanti dai classici rilievi diretti, mentre per il metodo proposto, si tratta del building information model del manufatto, realizzato grazie all'interazione con il modello tridimensionale a nuvola di punti, risultato dei rilievi indiretti con laser-scanner. Sebbene i due processi sembrano non essere comparabili – per la differenza delle operazioni adottate e, soprattutto, per la tipologia del risultato finale –, l'obiettivo è quello di valutare i vantaggi e gli svantaggi (in termini di qualità e quantità di dati e informazioni generate) dei procedimenti più evoluti, tecnologicamente e metodologicamente, di rilievo con laser-scanner e modellazione in ambiente BIM rispetto a quelli tradizionali di rilievo e restituzione grafica.

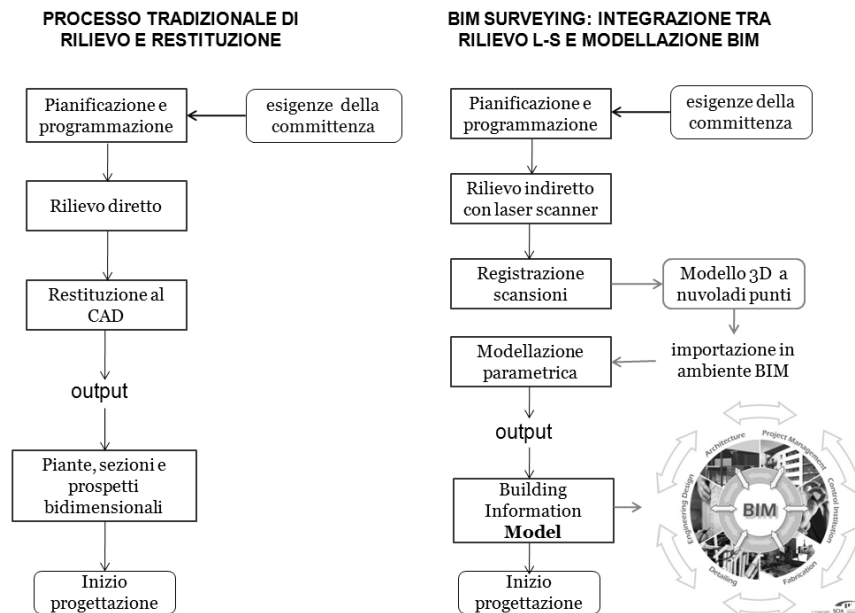


Fig. 49 I due workflow impiegati per i casi studio

5.3 PRIMO CASO STUDIO: IL PADIGLIONE MILITARE

5.3.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CENNI STORICI

La Caserma 'Sacchi' è un imponente complesso costituito da più corpi di fabbrica edificati tra la fine del XV e la prima metà del XIX secolo nella zona orientale della città di Caserta (Figg. 50-51). Nei secoli ha ospitato il Palazzo Vescovile, un Seminario, un Convento e un Padiglione Militare, oggetto, quest'ultimo, del caso studio. Negli ultimi anni l'intera Caserma è stata interessata da importanti interventi di recupero ed oggi ospita in gran parte uffici comunali. Del Padiglione Militare, invece, restano in stato di degrado il primo ed il secondo piano, mentre parte del piano terra, la copertura e le facciate sono state già oggetto di interventi. Il Padiglione, che risale alla prima metà del XIX secolo, si compone di un corpo centrale di forma pressoché rettangolare di lati pari a circa 103 e 15 metri, e di altri due corpi più piccoli e ad esso connessi: uno destinato alle latrine, l'altro al corpo scala.

Complessivamente, conta una superficie lorda di circa 5.150 metri quadrati distribuita su tre livelli di quasi 1.650 metri quadrati ciascuno. L'altezza al colmo è di 19,50 metri. La struttura portante è in muratura di tufo giallo e grigio, gli orizzontamenti sono a soletta piena con travi in calcestruzzo armato, a putrelle e voltine in tufo e a putrelle e voltine in laterizi forati, entrambi con soletta in calcestruzzo armato. Non rimane traccia dei collegamenti verticali originari, sostituiti da scale in carpenteria metallica. Sono presenti ad ogni piano nuovi infissi esterni in legno di pino.

5.3.2 IL RILIEVO DIRETTO E LA DIGITALIZZAZIONE GRAFICA DEI DATI

La prima fase condotta è stata quella del rilievo del manufatto in maniera diretta, usando strumenti semplici come fettucce metriche, doppi metri, distanziometri laser e fili a piombo. I punti misurati, come buona prassi, corrispondono ad oggetti ben identificabili, come angoli e spigoli vivi del manufatto. Le misurazioni più importanti nel rilievo hanno dato luogo a vari

schemi triangolari, in cui la base è costituita dal segmento che unisce i due punti noti da cui è stata effettuata la misurazione e il vertice corrisponde al punto incognito da determinare. La posizione di quest'ultimo è stata individuata – non avendo a disposizione strumenti per la misurazione degli angoli – con l'intersezione delle distanze degli altri due segmenti tramite l'operazione di trilaterazione.



Fig. 50 L'intero complesso della ex Caserma 'Sacchi'



Fig. 51 Il Padiglione Militare prima degli ultimi interventi parziali di recupero

A garanzia di una maggiore precisione del rilievo, e quando sussistevano le condizioni di reciproca visibilità, la posizione dei punti ignoti veniva determinata anche da più di tre punti noti. In tal caso, il punto incognito costituiva il vertice comune a una serie di triangoli adiacenti. Le triangolazioni o le trilaterazioni multiple verso uno stesso punto hanno, in generale, il vantaggio di consentire un controllo reciproco che consente di individuare gli errori ed eventualmente di ridistribuirli²⁴.

Per il rilievo diretto del Padiglione della ex Caserma 'Sacchi' erano presenti due squadre di rilevamento²⁵: una composta da tre persone impegnate nelle operazioni di misurazione degli ambienti interni e delle parti esterne, l'altra composta da due persone dedite al rilievo metrico dei dettagli, delle altezze e degli spessori murari. Le misure venivano annotate di volta in volta su eidotipi (ne sono stati prodotti in tutto 73 - Fig. 52). Nonostante le dimensioni notevoli del fabbricato da rilevare, il tempo impiegato per le fasi descritte è stato di sette giorni.

Il secondo step ha riguardato la digitalizzazione dei dati metrici acquisiti servendosi del più diffuso software CAD (Autodesk AutoCAD versione 2012). Prendendo a riferimento gli standard per il disegno tecnico definiti dalle norme UNI²⁶, sono stati prodotti, in undici giorni di lavoro, quattro piante, sette sezioni e due prospetti (Fig. 53).

²⁴ Bianchini M., *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Aracne Editrice, Roma, 2008

²⁵ Si ringraziano Emanuela De Feo, Davide Barbato, Angelo Mazzariello e Veronica Rodia per la loro collaborazione alle fasi di rilievo diretto

²⁶ UNI ISO 128-1:2007 Disegni tecnici – Principi generali di rappresentazione – Introduzione e indice; UNI ISO 128-23:2005 Disegni tecnici – Principi generali di rappresentazione – Parte 23: Linee utilizzate nei disegni di costruzione e di ingegneria civile; UNI 3972:1981 Disegni tecnici. Tratteggi per la rappresentazione dei materiali nelle sezioni; UNI 3973:1989 Disegni tecnici. Quotatura. Linee di misura e di riferimento e criteri di indicazione delle quote

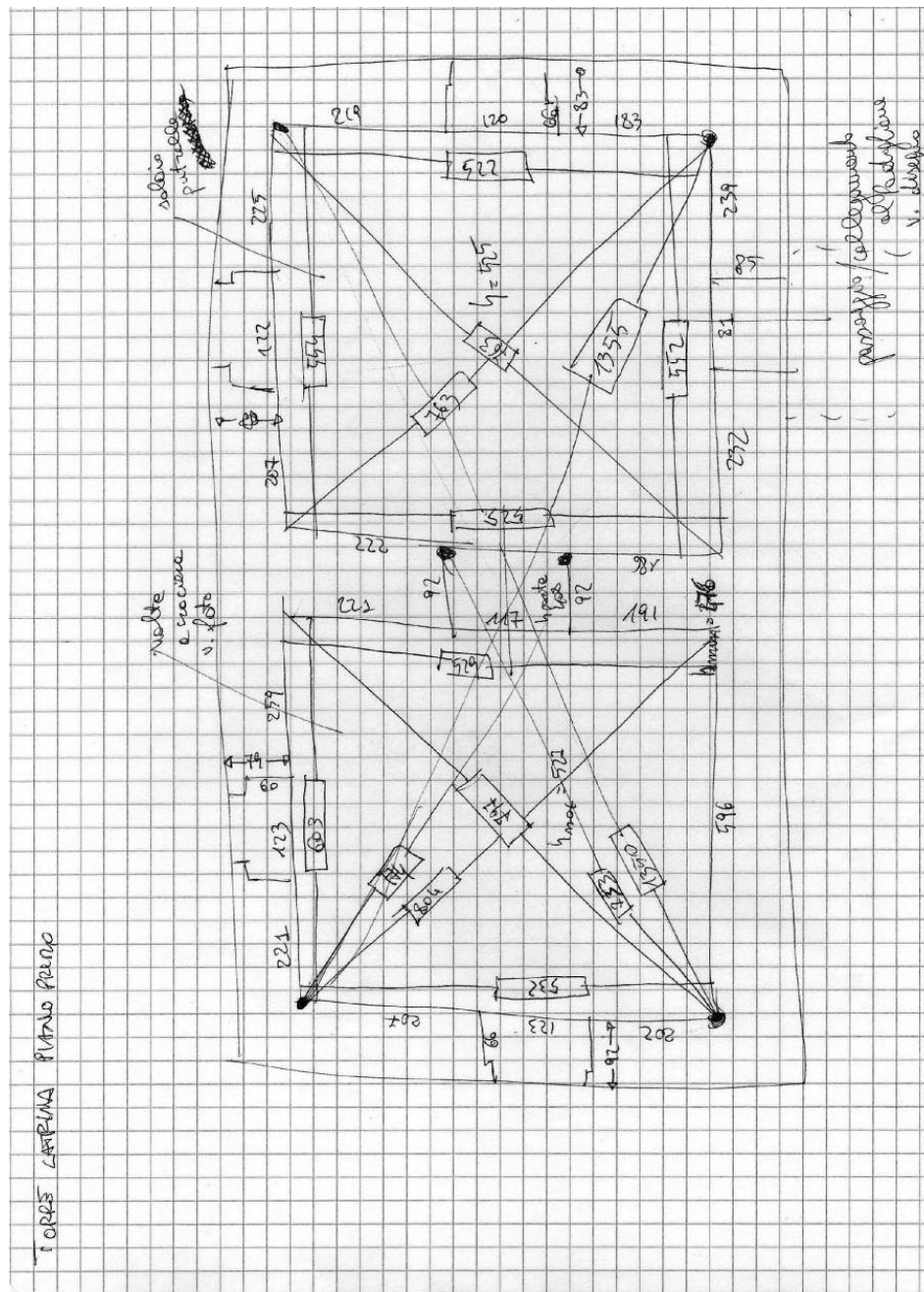


Fig. 52 Uno degli eidotipi del primo piano della torre latrina

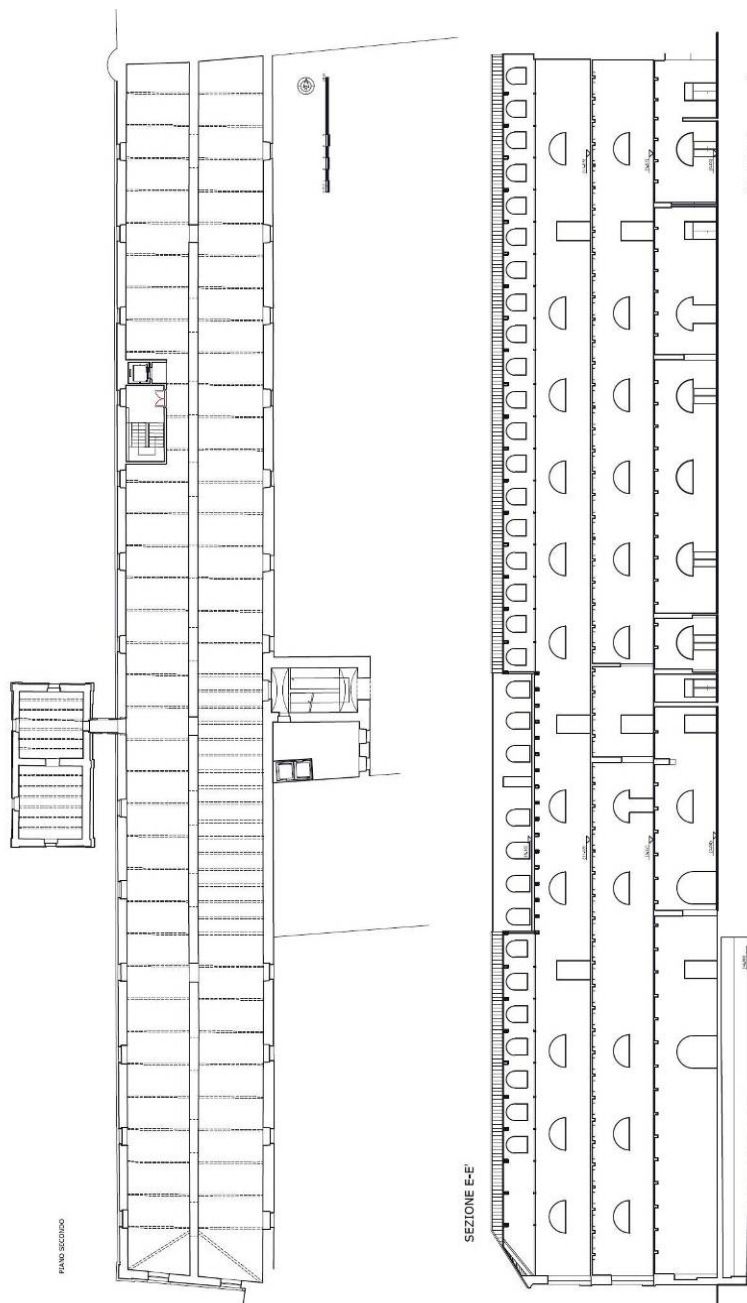


Fig. 53 Una pianta e una sezione elaborate in ambiente CAD

5.3.3 IL RILIEVO INDIRETTO CON LASER-SCANNER

Un aspetto fondamentale che differenzia le misurazioni effettuate con gli strumenti del rilievo indiretto con laser-scanner da quelle del rilievo diretto riguarda la dimensione dello spazio rilevato. I punti acquisiti da un laser-scanner, infatti, vengono restituiti all'interno di un sistema di coordinate spaziali a tre coordinate x, y, z. Fattore decisamente rilevante per quanto riguarda la produttività del rilievo è la velocità di acquisizione alla quale corrisponde la precisione del dato acquisito. Per il caso studio in esame è stato utilizzato il laser-scanner Faro Focus 3D che garantisce, con il settaggio più performante e in condizioni ambientali ottimali, una portata di circa 120 metri, una velocità di misura di 122.000 punti acquisiti al secondo, un errore massimo di 2 millimetri a 25 metri di distanza lineare e una precisione del decimo di millimetro.

I profili di settaggio dello strumento utilizzati sono stati due (Tab. 3): uno per gli esterni (risoluzione 1/5: un punto acquisito ogni 7 millimetri a distanza di 10 metri; qualità 4x: velocità della scansione 122.000 punti al secondo; senza fotografie; durata di ogni scansione 3 minuti e 42 secondi), l'altro per gli interni (risoluzione 1/10: un punto acquisito ogni 15 millimetri a distanza di 10 metri; qualità 4x: velocità della scansione 122.000 punti al secondo; senza fotografie; durata di ogni scansione un minuto e 18 secondi (Fig. 54). La scelta dei settaggi dello strumento è stata guidata dal grado di risoluzione previsto negli output finali.

Tab. 3 Settaggi del laser-scanner

	Ambienti	
	Esterni	Interni
Risoluzione	1/5	1/10
	1 pt. ogni 7.6 mm a 10 m	1 pt. ogni 15.3 mm a 10 m
Qualità	4X	4X
Velocità (pt./sec.)	122.000	122.000
Durata (sec.)	222	78
Numero scansioni	32	141

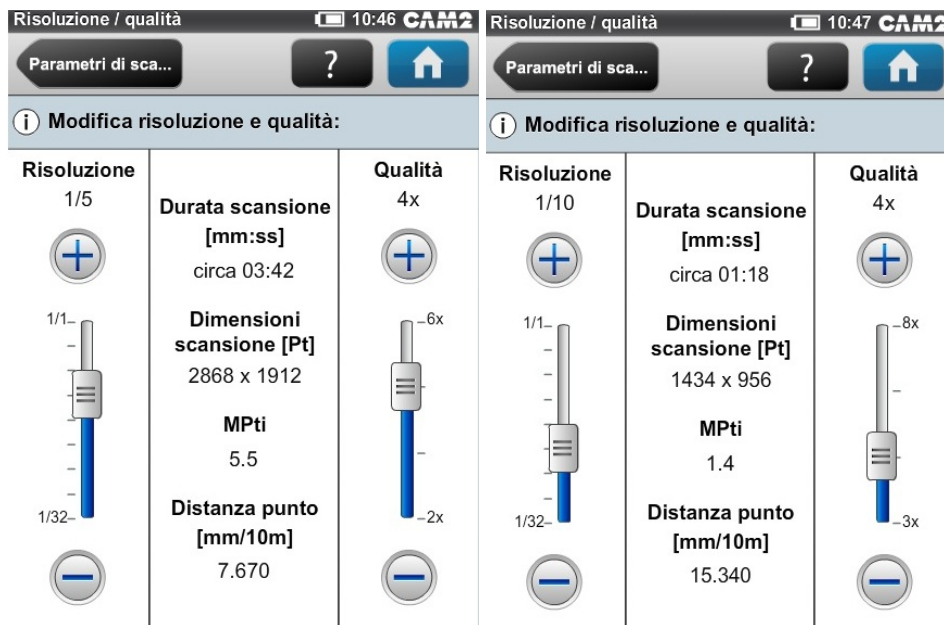


Fig. 54 Interfacce di comando del laser-scanner corrispondenti ai rilievi degli ambienti esterni (a sinistra) e di quelli interni (a destra)

La fase di rilievo indiretto è durata tre giorni e sono state effettuate in totale 173 scansioni – 141 interne e 32 esterne (Fig. 55) – servendosi sia di target a scacchiera applicati alle superfici verticali del manufatto, sia di target sferici al fine di agevolare la successiva fase di post-processamento dei dati.

5.3.4 IL POST-PROCESSAMENTO DELLE NUVOLE DI PUNTI

La fase di post-processamento dei dati acquisiti durante i rilievi è, in generale, la più laboriosa. Il software utilizzato è quello proprietario della casa produttrice dello strumento: Faro Scene, nella versione 5.1.

La prima operazione è stata quella di creare, in ambiente Scene, un nuovo progetto: in automatico il software ha organizzato i dati in una cartella generale e in una serie di sottocartelle, nelle quali sono state archiviate 'gerarchicamente' non solo tutte le scansioni grezze, ma anche tutti gli step cronologici delle operazioni che, su di esse, sono state effettuate.

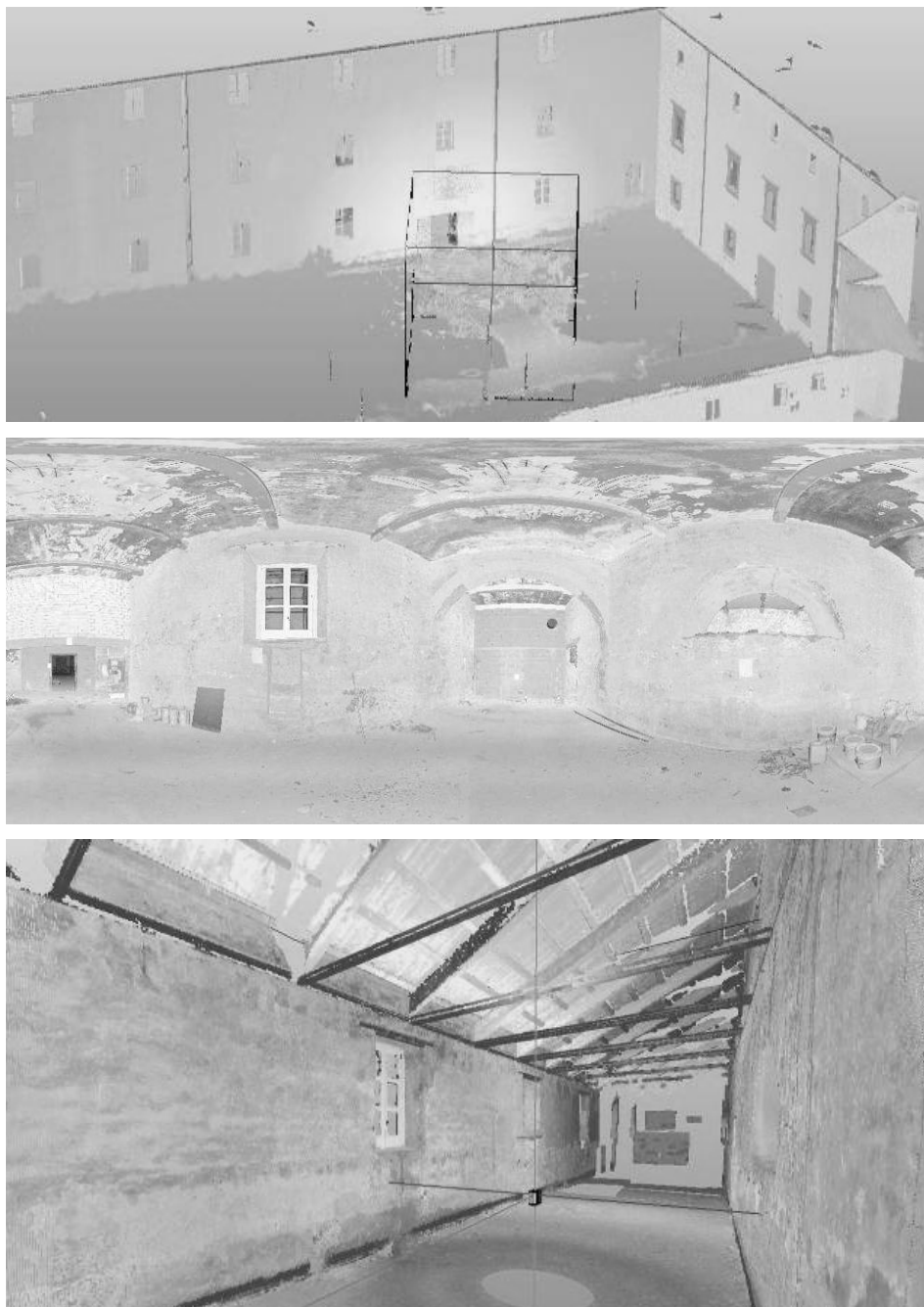


Fig. 55 Alcune preview delle scansioni del Padiglione militare

Tali step, nel programma di elaborazione delle nuvole di punti, vengono definiti con il termine 'revision'. Una volta importate tutte le scansioni all'interno del progetto creato (facendo un semplice drag-and-drop dei file dalla scheda di memoria presente nello scanner al workspace del software) è stato necessario procedere al loro allineamento, ossia al loro posizionamento rispetto ad un unico sistema di riferimento. Questa operazione è stata effettuata in maniera semi automatica e quindi più rapida poiché, in fase di rilievo, si è fatto uso di target sferici e a scacchiera, opportunamente posizionati (Fig. 56).

Infatti, il software è in grado di riconoscerli e di collocare in automatico le singole scansioni (Fig. 57), evitando all'operatore la laboriosa fase di individuazione manuale di punti omologhi tra una scansione e l'altra. Per non 'affaticare' eccessivamente le componenti hardware della work-station (soprattutto della scheda video e della ram), la nuvola di punti è stata precedentemente decimata e privata delle informazioni non necessarie (depurandola della presenza di quegli elementi inevitabilmente colpiti dal laser durante la sua rotazione a 360 gradi rispetto a un asse orizzontale e uno verticale, che non sono oggetto di analisi).

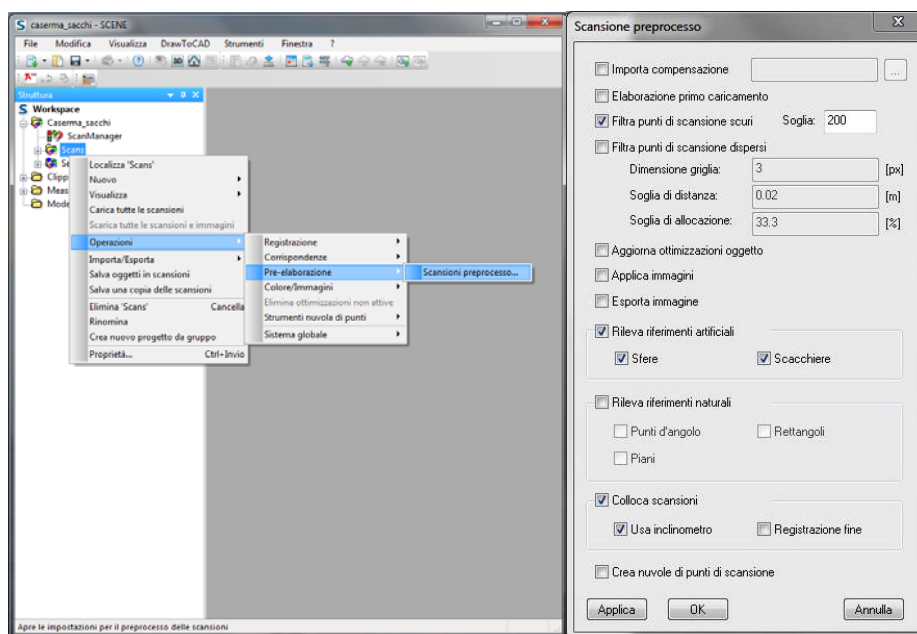


Fig. 56 Settaggio delle operazioni di allineamento semi-automatico in Scene



Fig. 57 Visualizzazione rapida di una scansione prima (in alto) e dopo (in basso) aver lanciato il comando di riconoscimento automatico dei target sferici e piani

Questa fase del processo ha impegnato un operatore per due giorni di lavoro. Il modello completo a nuvola di punti così generato (Fig. 58) non solo è oggettivamente rappresentativo della realtà ma può essere interrogato in qualsiasi momento. Il modello digitale ottenuto rappresenta già un'importante base di dati, semplicemente considerando che è possibile misurare un qualsiasi

elemento con precisioni dell'ordine del centimetro senza rischiare, come può accadere nel caso di un rilievo diretto, ad esempio, di ritornare più volte in loco per effettuare rilievi di zone mancanti.

Sempre all'interno dello stesso software, grazie al comando casella di ritaglio (clipping box), è stato possibile sezionare la nuvola di punti e ritagliare aree specifiche di essa. Nel caso studio, questo strumento è stato utilizzato per esportare alcune porzioni di nuvola corrispondenti ai singoli elementi costruttivi che caratterizzano la fabbrica antica quali finestre, solai tradizionali, particolari costruttivi, e così via (Fig. 59). Queste porzioni di nuvola di punti sono state successivamente importate in ambiente BIM ed utilizzate come riferimento geometrico e formale di base per la modellazione parametrica del singolo elemento tecnologico.

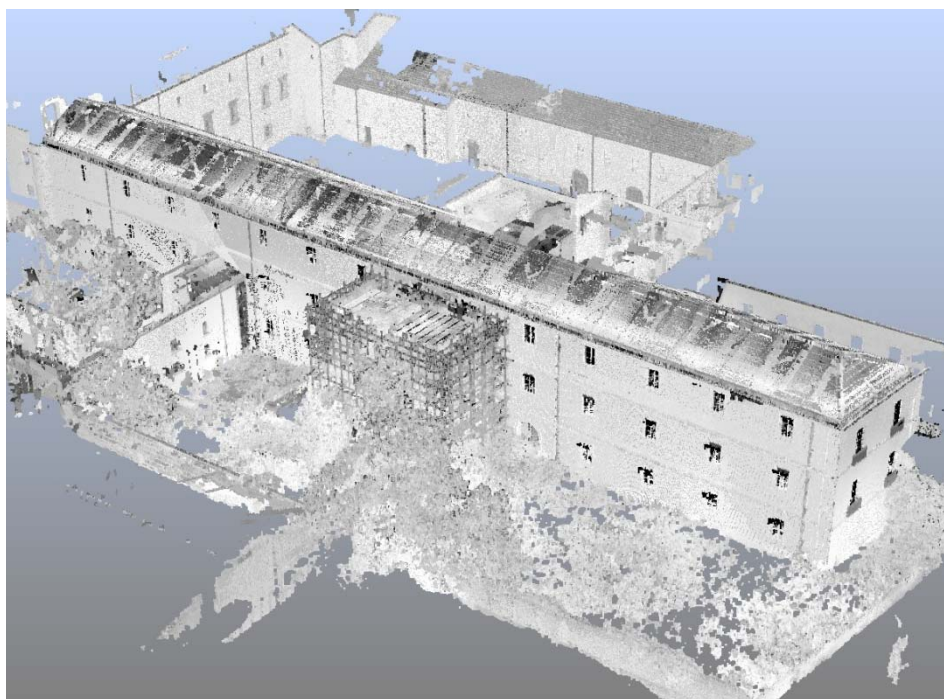


Fig. 58 Modello completo allineato del Padiglione militare visto dall'esterno

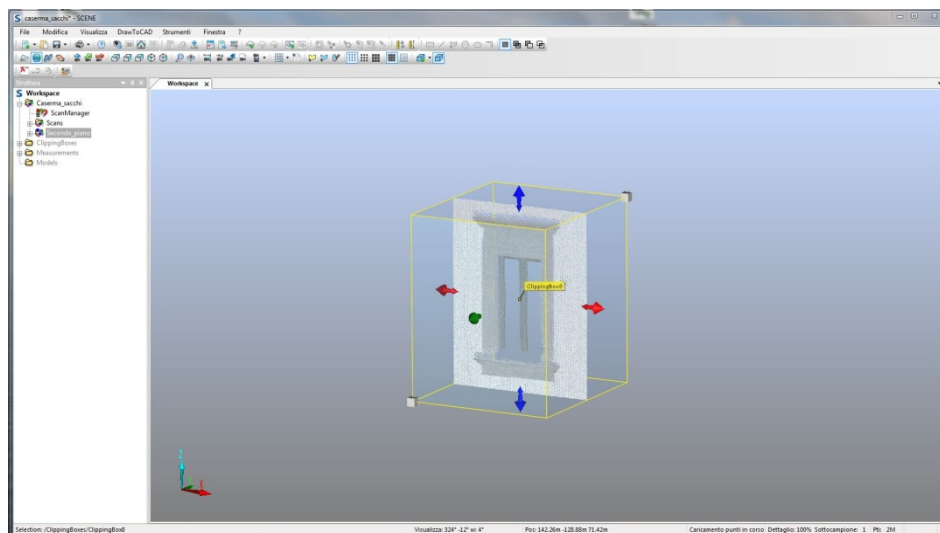


Fig. 59 Vista 3D di una finestra selezionata tramite la casella di ritaglio

Altre clipping box sono state realizzate per verificare, sia durante la fase di post-processamento dei dati che a modello completo, il corretto allineamento delle singole nuvole di punti (Figg. 60-61-62-63).

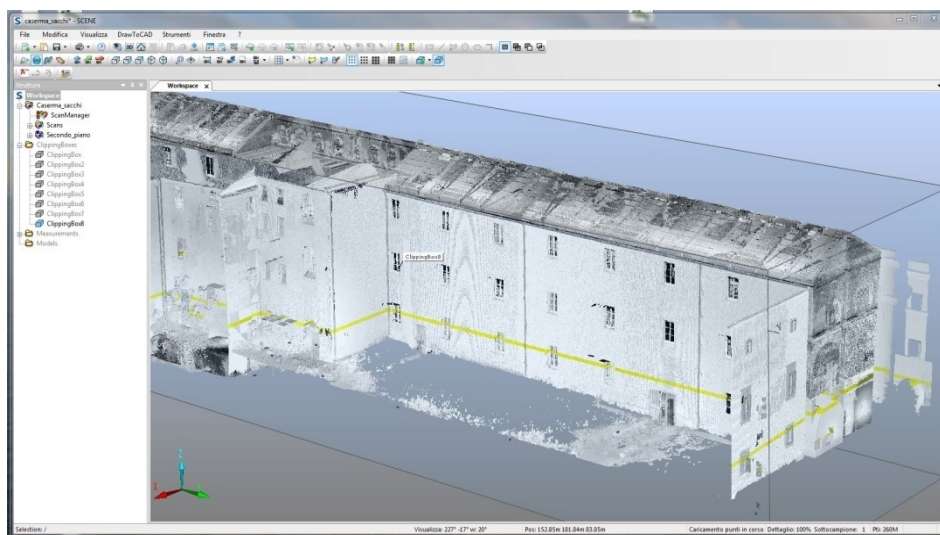


Fig. 60 Definizione del piano di sezione per la realizzazione della clipping box

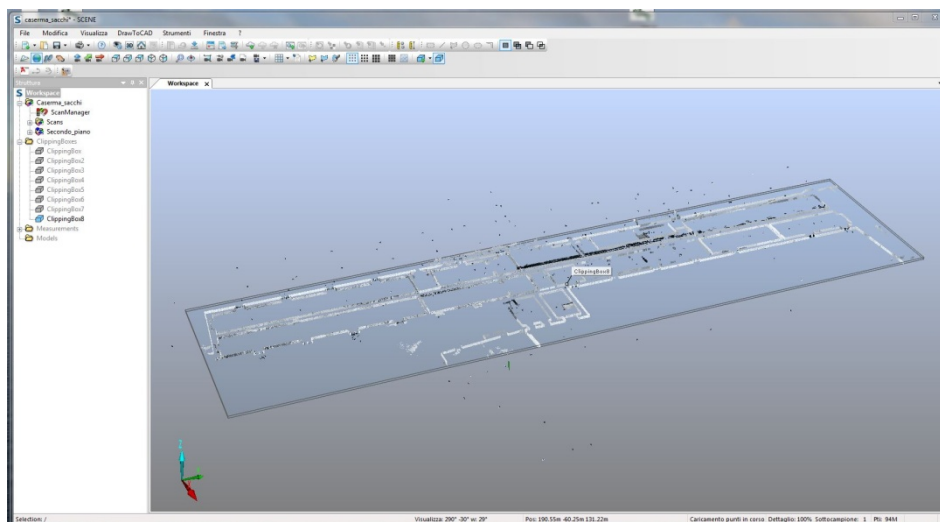


Fig. 61 Realizzazione di una sezione orizzontale del modello ad una certa quota (individuata con una polilinea gialla nell'immagine precedente)

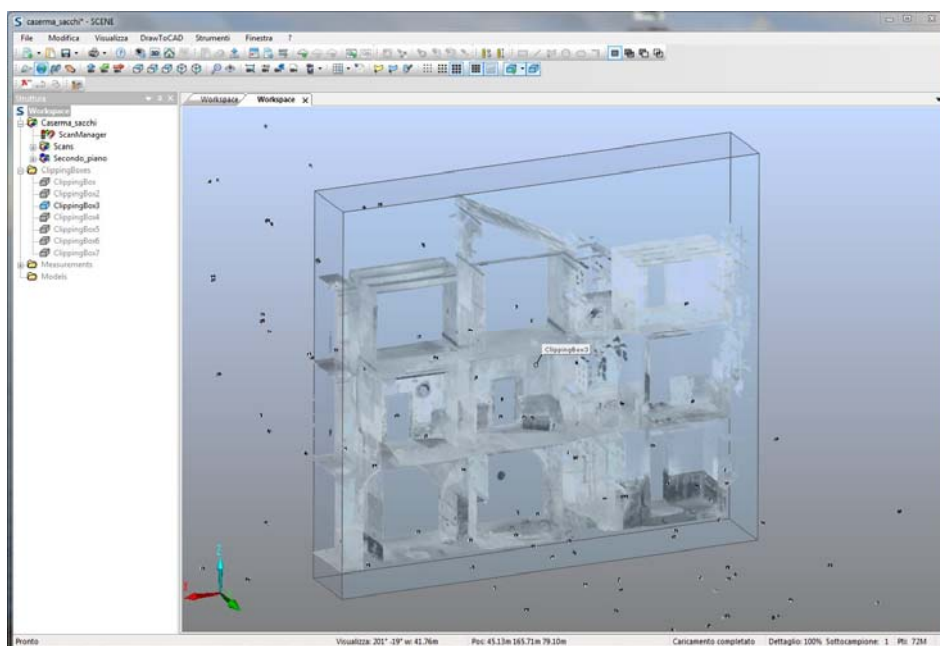


Fig. 62 Realizzazione di una sezione verticale e trasversale del modello

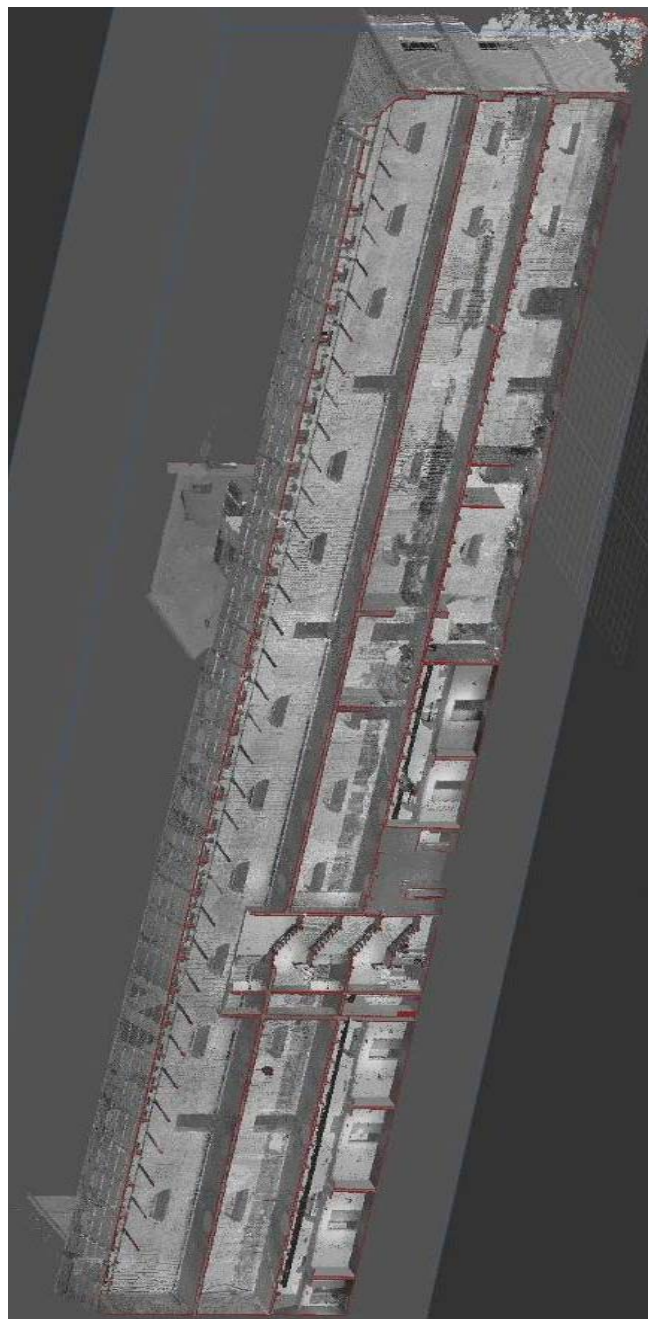


Fig. 63 Modello a nuvola di punti sezionato con un piano verticale e longitudinale

5.3.5 LA MODELLAZIONE PARAMETRICA IN AMBIENTE BIM

La fase più significativa del BIM Surveying ha riguardato la modellazione parametrica del Padiglione Militare, sfruttando la contemporanea presenza del modello a nuvola di punti del manufatto storico. Il software BIM impiegato per le elaborazioni è stato Revit Architecture 2013 della Autodesk, che consente di gestire con una certa fluidità nuvole di punti anche molto 'pesanti'.

Prima delle fasi vere e proprie di modellazione tridimensionale parametrica, sono stati effettuati alcuni importanti step preliminari quali, ad esempio, l'impostazione delle coordinate geografiche del sito su cui sorge il Padiglione Militare, ovvero Caserta (Fig. 64).

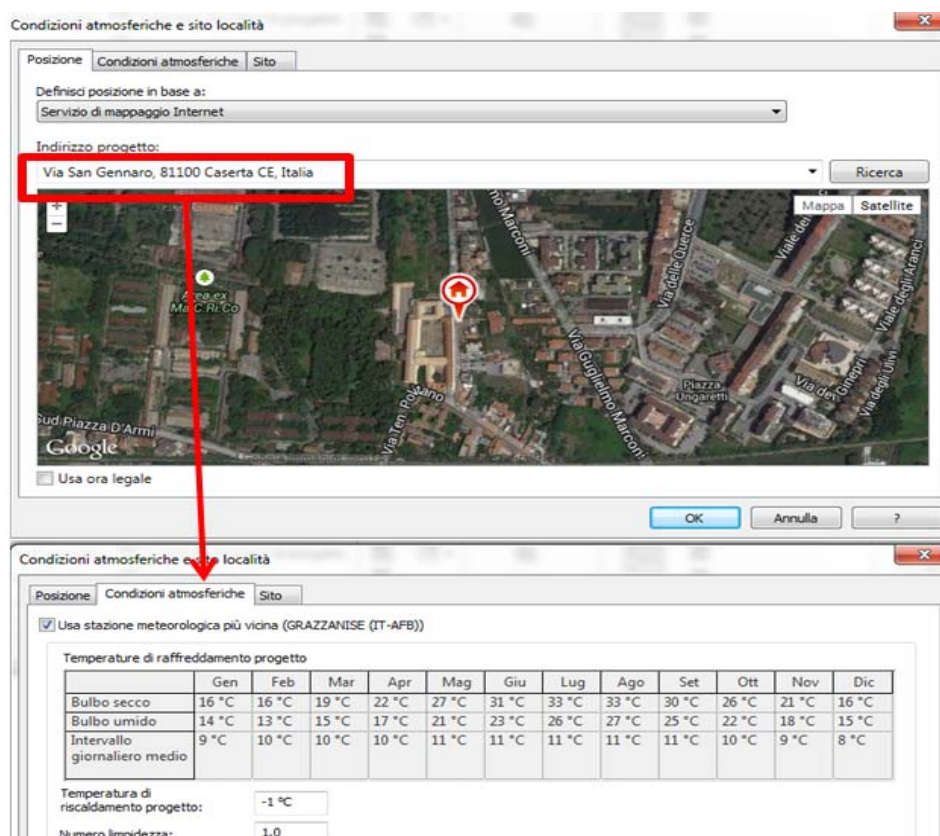


Fig. 64 Definizione del sito e delle condizioni meteorologiche

Tale operazione ha 'richiamato' le condizioni climatiche registrate dalla stazione meteorologica più vicina al luogo di interesse, che sono state importanti in automatico nel database del file. Insieme ad altre successive implementazioni di dati, questo step consente, a modello terminato, di effettuare analisi energetiche a seguito delle scelte progettuali di carattere tecnologico ed impiantistico. Una ulteriore fase di informatizzazione preliminare del building information model ha riguardato la caratterizzazione dei materiali e degli elementi tecnologici che costituiscono il Padiglione. Pertanto, sono state definite le proprietà grafiche (colore e tipologia dei retini e delle superfici per gli output di stampa) e termiche²⁷ (conducibilità termica, calore specifico, densità, ecc.) della muratura di tufo (Fig. 65), nonché la tipologia e le caratteristiche degli infissi esterni (Fig. 66) e della copertura. Questi ultimi due elementi sono stati oggetto di sostituzione durante i recenti lavori di recupero e conservazione che hanno interessato solo parzialmente il manufatto e, di conseguenza, i relativi oggetti infografici bim sono stati facilmente rintracciabili all'interno delle 'librerie' del software.

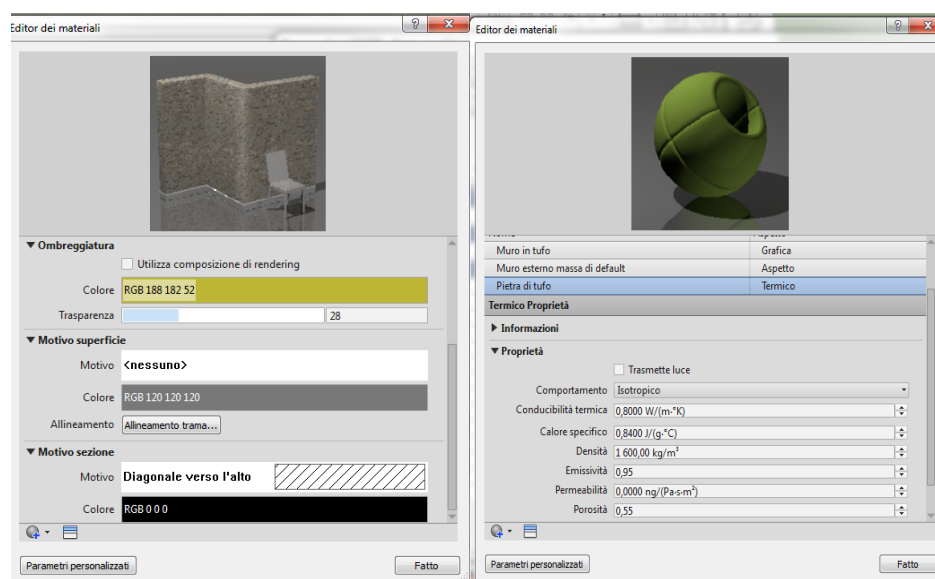


Fig. 65 Definizione delle proprietà grafiche (a sinistra) e termiche (a destra) del tufo

²⁷ Le proprietà termiche del tufo sono state ricavate dai dati presenti nell'Appendice A "Prestazioni energetiche degli edifici" della norma UNI/TS 11300-1

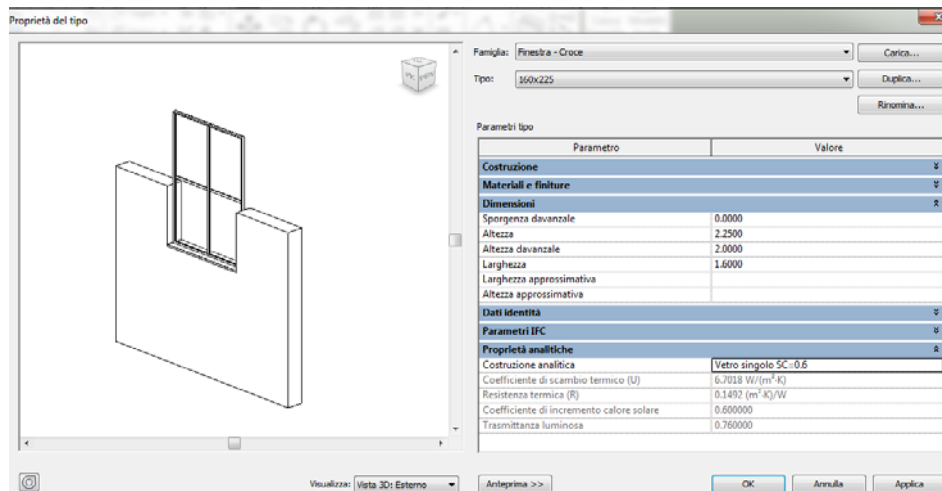


Fig. 66 Settaggio delle caratteristiche geometriche e prestazionali degli infissi esterni

A questo punto è stato importato all'interno di Revit e grazie all'apposito comando 'inserisci nuvola di punti' (Fig. 67), il modello 3D a nuvola di punti del Padiglione Militare elaborato nella precedente fase di post-processamento dei dati provenienti dalle scansioni con laser-scanner (Fig. 68). Il modello 3D è stato automaticamente referenziato rispetto al sistema di riferimento locale utilizzato dallo strumento di acquisizione riconoscendo, inoltre, la stessa unità di misura. Il fine è di agevolare le procedure legate alla modellazione parametrica, come l'individuazione dell'orientamento solare, la definizione delle quote relative dei solai, la individuazione univoca delle murature, degli orizzontamenti e delle aperture dal punto di vista geometrico e formale, e così via.

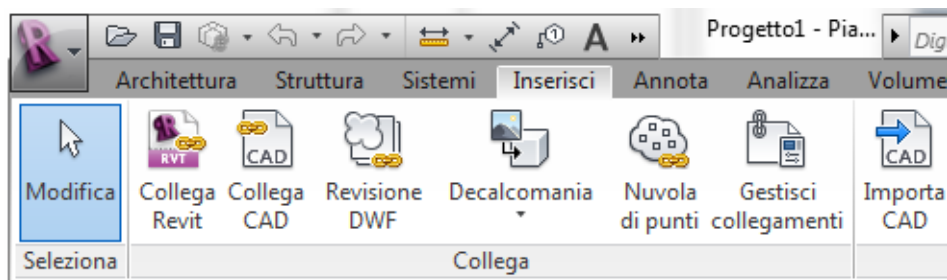


Fig. 67 Il comando 'Nuvola di punti' nella barra multifunzione 'Inserisci' di Revit

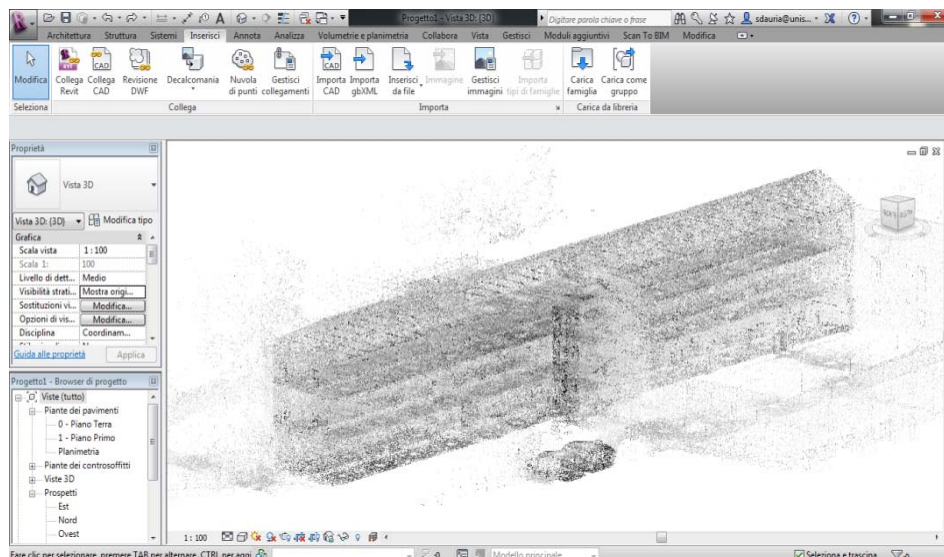


Fig. 68 Il modello a nuvola di punti in ambiente BIM

Per lavorare correttamente in ambiente BIM seguendo un ordine cronotecnologico (modellando, quindi, dal piano terra fino alla copertura), è stato necessario impostare le quote (relative) di ciascun estradosso di solaio. L'operazione è stata effettuata in una delle quattro viste di prospetto che compaiono di default all'interno della barra di progetto di Revit, andando ad inserire, sulla nuvola di punti, dapprima la quota 'zero' di riferimento e poi di volta in volta un nuovo 'livello di quota' in corrispondenza degli orizzontamenti (Fig. 69).

In automatico il software ha calcolato le quote altimetriche tra i piani orizzontali così definiti e ha aggiornato il menu di progetto con la creazione delle cosiddette 'piante dei pavimenti'. Da questo momento è iniziata la fase vera e propria della modellazione parametrica. Diversamente da quanto accade quando si approccia alla progettazione di nuovi edifici, quelli cioè che annoverano oggetti bim 'standard' (come muri, tramezzi, finestre, solai, ecc.) editabili in base a parametri ben definiti (come spessore, numero e tipologia di strati, colore, e così via), nel caso del Padiglione Militare la difficoltà riscontrata è stata quella di non poter sempre sfruttare gli oggetti bim già presenti nelle librerie del software. È il caso, ad esempio, delle murature che non sempre conservano la stessa sagoma, né in elevazione né in pianta, e dei solai che non sono di tipo corrente.

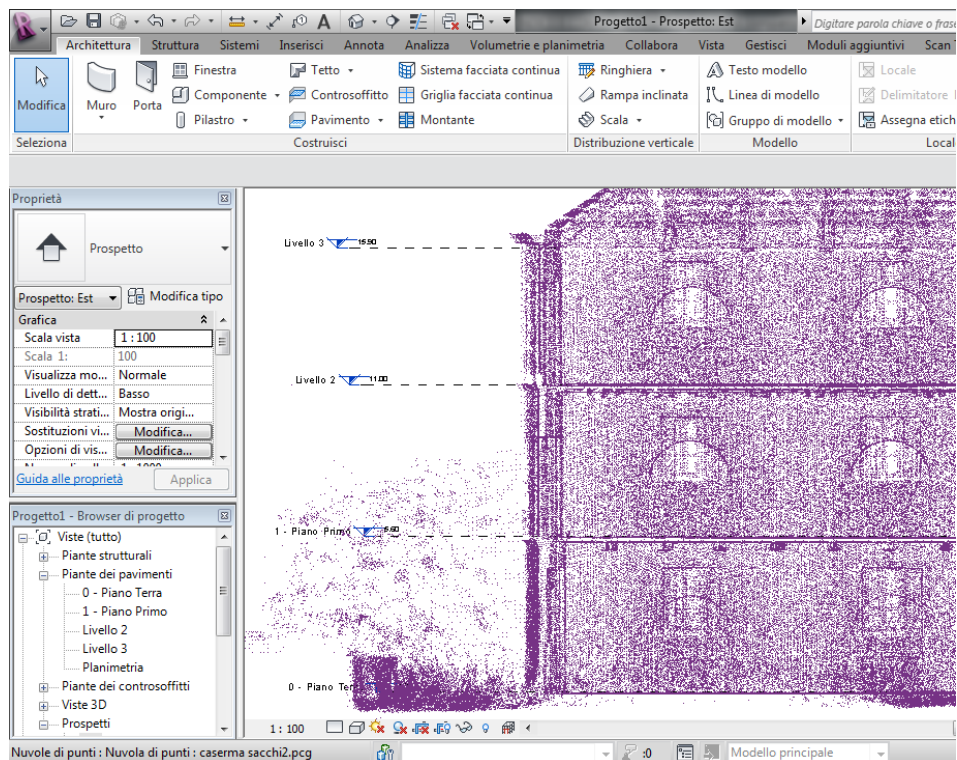


Fig. 69 Definizione dei piani di riferimento, o livelli, sulla nuvola di punti

Per ovviare a tali inconvenienti, si sono modellate le murature, per ogni piano (o livello), servendosi del modello a nuvola di punti importato. Non potendo utilizzare le opportune ‘famiglie’ già presenti nel database del software (poiché troppo vincolanti per questo tipo di modellazione) è stato creato un nuovo oggetto bim appartenente sempre alla ‘categoria muri’ (Fig. 70).

Per ogni vista in pianta della nuvola di punti, è stato disegnato il perimetro delle strutture murarie attraverso il comando ‘linea’ (Fig. 70) che, dotato della popolare proprietà di ‘snap ad oggetto’, ha riconosciuto i punti del modello 3D intercettati dai vari piani di sezione orizzontali posti, in genere, a due metri rispetto al piano di calpestio di ciascun livello (Fig. 71). Tale quota è stata scelta più alta rispetto a quella tradizionale – di un metro e dieci – utilizzata per rappresentare le piante degli edifici poiché, in molti casi, i piani orizzontali non intersecavano i vani finestra.

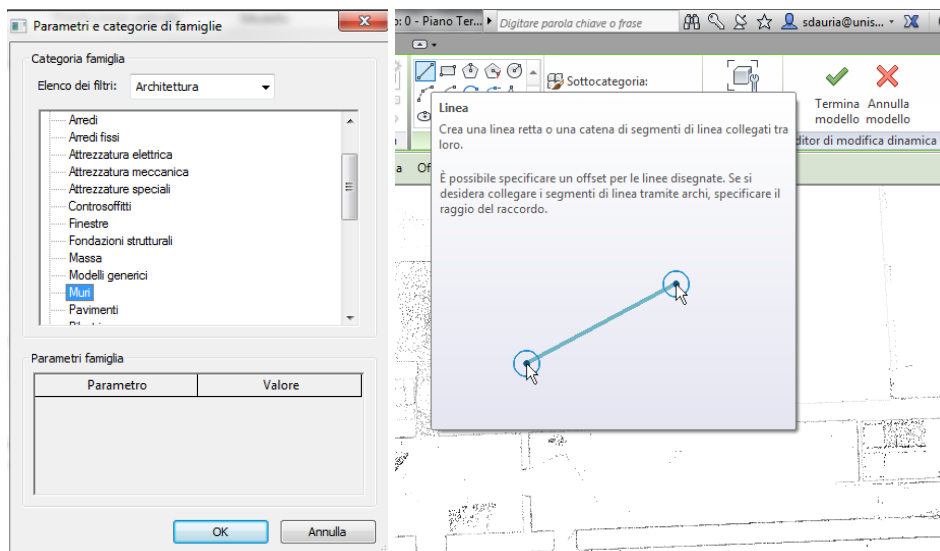


Fig. 70 Definizione della categoria 'muri' per i nuovi componenti bim (a sinistra); comando 'linea' utilizzato per disegnare il perimetro delle strutture murarie (a destra)

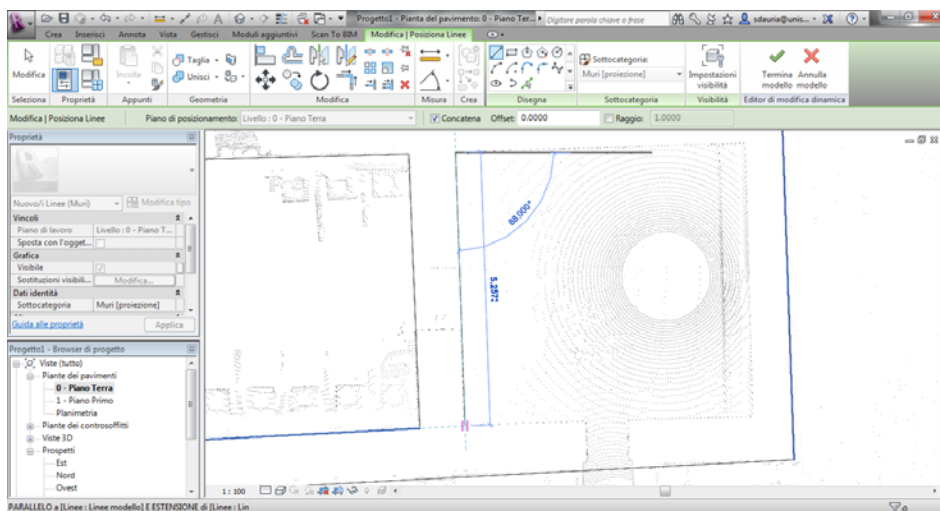


Fig. 71 Disegno bidimensionale delle murature seguendo la nuvola di punti

Una volta completato il disegno bidimensionale di un livello in pianta (Fig. 72), sono state generate per estrusione tutte le strutture murarie, a cui sono state successivamente associate le caratteristiche grafiche e termiche de-

finite in precedenza per il tufo. Così il modello tridimensionale dei muri non rappresenta semplicemente un oggetto tridimensionale infografico bensì un oggetto 'intelligente' bim. Ogni singolo piano, poi, è stato completato inserendo porte e finestre (Fig. 73).

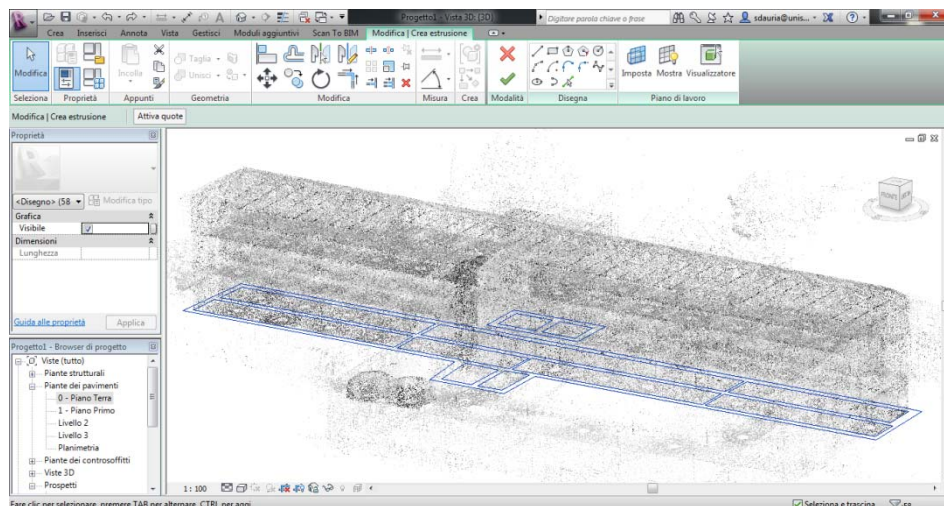


Fig. 72 Definizione dei contorni delle murature al piano terra in ambiente BIM

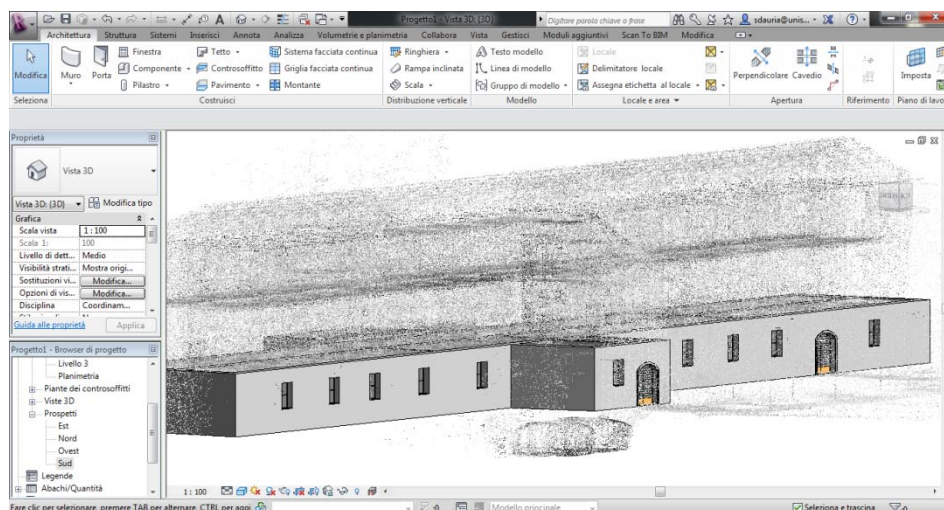


Fig. 73 Modellazione bim del piano terra con muri, porte e finestre

Per i solai, invece, il procedimento è stato più laborioso poiché, rispetto alle murature, questi sono composti da più strati con caratteristiche differenti. È stato necessario, quindi, creare ancora una volta ‘famiglie’ ad hoc corrispondenti ai tipi di solai presenti. Ad esempio, per il solaio composto da putrelle e voltine in tufo è stata creata una porzione parametrica di solaio bim costituita da travetti in acciaio (ottenuti dall’estrusione di un profilo IPE - Fig. 74) e da voltine in tufo (ottenute dall’estrusione di una porzione di corona circolare - Figg. 75-76).

Con questo procedimento sono state realizzate le altre due tipologie di solai presenti all’interno del Padiglione Militare, ovvero il solaio a soletta piena con travi in calcestruzzo armato, e quello a putrelle e voltine laterizi forati. La modellazione è proseguita seguendo gli stessi step descritti fino ad ora per ogni singolo piano, fino alla copertura. In definitiva, il modello bim del Padiglione Militare (Fig. 77) è stato realizzato in otto giorni di elaborazioni al computer.

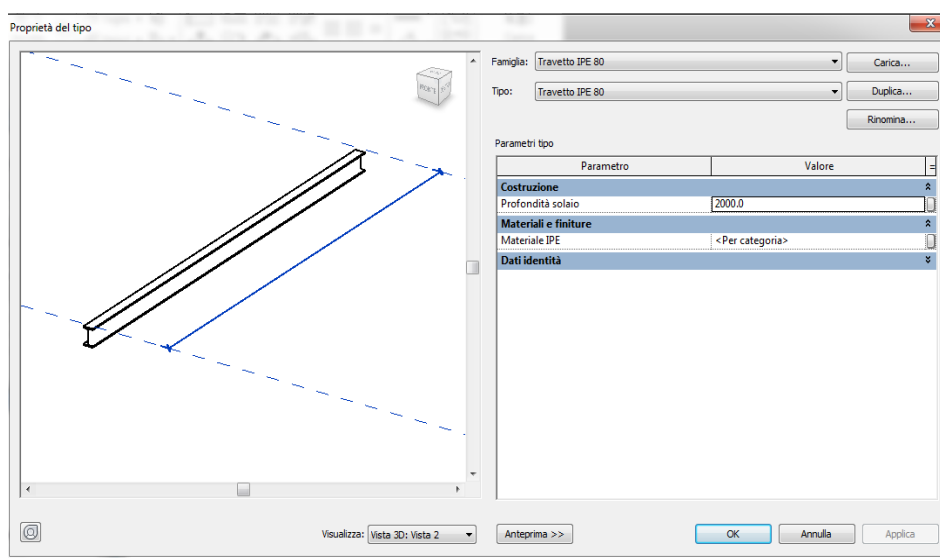


Fig. 74 Modellazione parametrica dei travetti per il ‘solaio con putrelle e voltine in tufo’

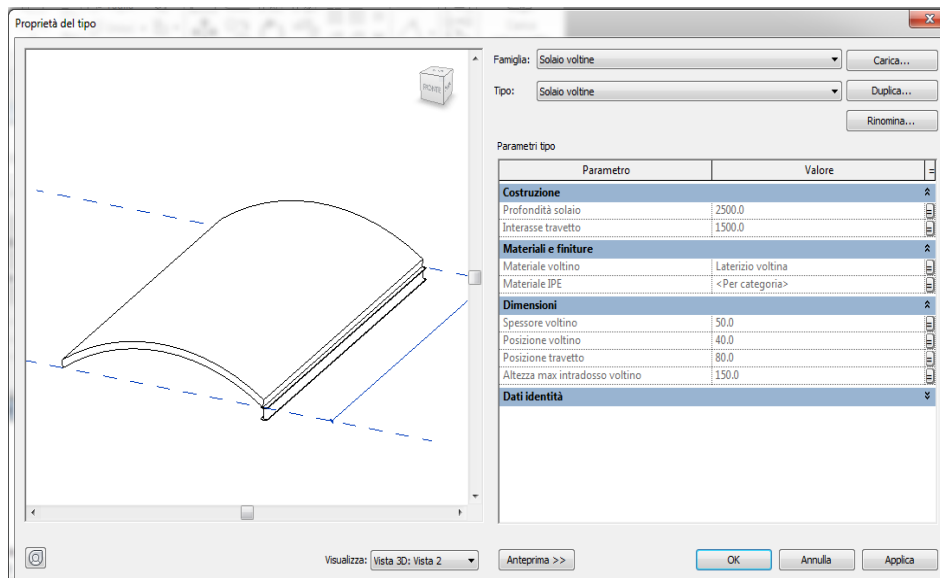


Fig. 75 Modellazione parametrica delle voltine per il 'solaio con putrelle e voltine in tufo'

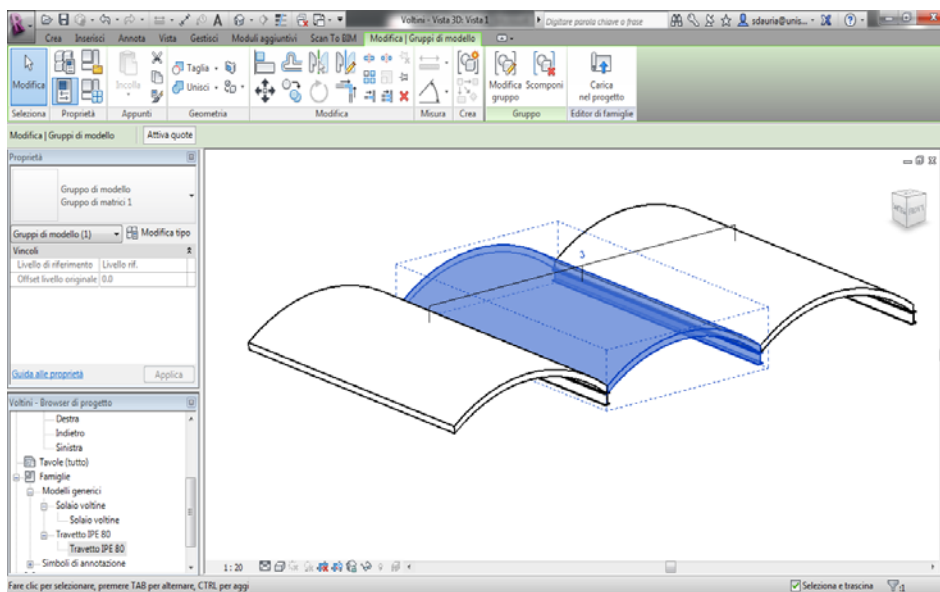


Fig. 76 La nuova 'famiglia bim' corrispondente al solaio con putrelle e voltine in tufo

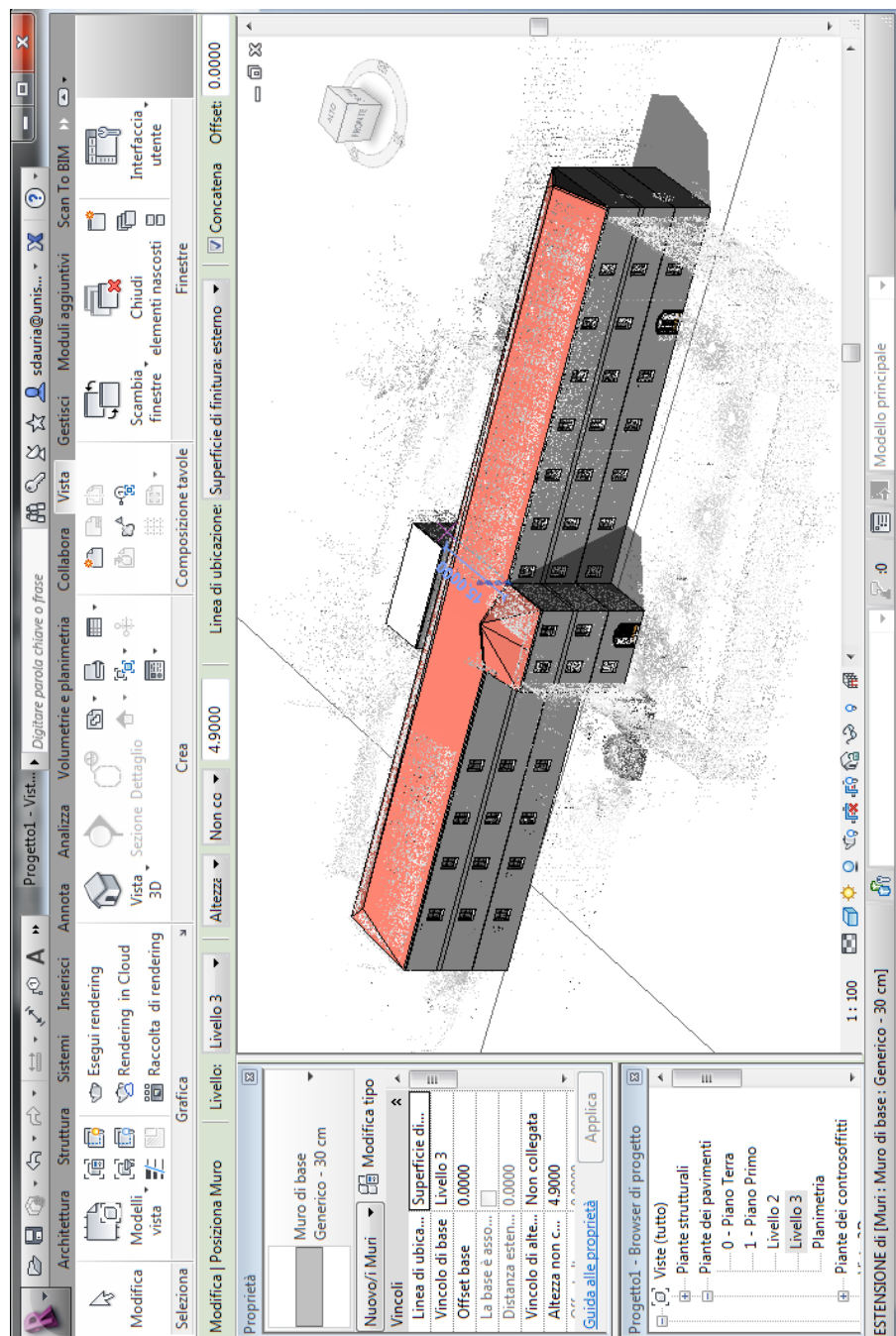


Fig. 77 Il building information model del Padiglione Militare della ex Caserma 'Sacchi'

5.4 SECONDO CASO STUDIO: IL CASTELLO DI FRANCOLISE

Per il secondo caso studio sono stati applicati gli stessi procedimenti impiegati per il Padiglione Militare della ex Caserma 'Sacchi', al fine di avvalorare i primi risultati ottenuti. In questo paragrafo, pertanto, si sintetizzano gli step operativi effettuati e i risultati ottenuti. Tutte le immagini e i grafici, inoltre, sono riportati a fine paragrafo per facilitare la lettura.

5.4.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CENNI STORICI

Il Castello medioevale di Francolise è situato nella parte occidentale del piccolo paese casertano (Figg. 78-79). Alcune fonti indicano l'origine della costruzione risalente alla seconda metà del XIII secolo per volere del Cardinale Benedetto Caetani, diventato poi Papa Bonifacio VIII, o di San Tommaso d'Aquino.

Il manufatto non si presenta in un buon stato di conservazione, nonostante alcuni recenti interventi di recupero volti alla sostituzione degli orizzontamenti e della copertura. Il Castello è caratterizzato da una forma irregolare in pianta, consta di quattro piani, per una superficie lorda totale di circa 1450 metri quadrati. La struttura portante è in muratura di calcare e tufo; gli orizzontamenti del secondo livello sono quelli originali impostati su volte, mentre gli altri sono realizzati con struttura in legno lamellare e soletta in calcestruzzo armato. I collegamenti verticali sono assicurati da una scala in muratura che collega il piano terra al piano primo, mentre agli altri livelli si accede mediante una scala in acciaio.

5.4.2 IL RILIEVO DIRETTO E LA DIGITALIZZAZIONE DEI DATI

La prima fase condotta del processo tradizionale analizzato è stata quella del rilievo diretto del manufatto. Avvalendosi degli stessi strumenti di misura e, soprattutto, della collaborazione delle stesse persone coinvolte per il primo caso studio (organizzate in due squadre di rilevamento: una composta da tre persone impegnate nelle operazioni di misurazione degli ambienti interni, l'altra composta da due persone dedite al rilievo metrico dei dettagli, delle al-

tezze e degli spessori murari), la fase di rilievo diretto si è conclusa in quattro giorni. Le misure venivano annotate di volta in volta su eidotipi, producendone in totale 48 (Fig. 80). Il secondo step ha riguardato la digitalizzazione dei dati metrici acquisiti con l'utilizzo, ancora una volta, di AutoCAD versione 2012. Prendendo a riferimento gli standard per il disegno tecnico UNI già indicati in precedenza, sono stati prodotti, in otto giorni di elaborazioni al CAD, quattro piante, sette sezioni e due prospetti (Fig. 81).

5.4.3 IL RILIEVO INDIRETTO CON LASER-SCANNER E IL POST-PROCESSAMENTO DELLE NUVOLE DI PUNTI

Per il caso studio del Castello di Francolise è stato utilizzato il laser-scanner Faro Focus 3D settato diversamente a seconda degli ambienti da rilevare. Per gli esterni sono stati impiegati i seguenti parametri: risoluzione 1/8 (un punto acquisito ogni 12 millimetri a distanza di 10 metri); qualità 4x (velocità della scansione pari a 122.000 punti al secondo); con fotografie; durata di ogni scansione 3 minuti e 44 secondi. Per gli ambienti interni, invece, è stato scelto un settaggio che tiene in conto della minor distanza che intercorre tra lo strumento e le superfici da acquisire: risoluzione 1/16 (un punto acquisito ogni 24 millimetri a distanza di 10 metri); qualità 4x (velocità della scansione pari a 122.000 punti al secondo); con fotografie; durata di ogni scansione 2 minuti e 23 secondi (Tab. 4). In questo caso, un solo operatore in un giorno di misurazioni ha effettuato 36 scansioni – 29 interne (Fig.82) e 7 esterne (Fig. 83) – servendosi di target a scacchiera applicati alle superfici verticali del manufatto per una più agevole fase di post-processamento dei dati.

Tab. 4 Settaggi del laser-scanner

	Ambienti	
	Esterni	Interni
Risoluzione	1/8 1 pt. ogni 12 mm a 10 m	1/16 1 pt. ogni 24 mm a 10 m
Qualità	4X	4X
Velocità (pt./sec.)	122.000	122.000
Durata (sec.)	224	143
Numero scansioni	7	29

La fase di post-processamento dei dati acquisiti durante i rilievi con laser-scanner ha richiesto, come per le elaborazioni dei dati del Padiglione Militare, l'impiego di una workstation altamente performante e del software Faro Scene 5.1, programma realizzato dalla stessa casa produttrice dello strumento. Ogni singola scansione è stata 'allineata' alle altre sfruttando la presenza di punti omologhi sulle zone comuni a più scansioni.

Tale operazione, meglio descritta per il caso studio precedente, è stata preceduta dalla indispensabile fase di 'decimazione' delle nuvole di punti, ovvero dalla eliminazione di tutte quelle informazioni non necessarie che appesantiscono notevolmente il file di lavoro. Questa fase del processo è stata svolta da una persona in un giorno di elaborazioni e ha consentito di ottenere il modello tridimensionale a nuvola di punti del Castello di Francolise (Fig. 84): un prodotto già di per sé fondamentale per la corretta impostazione di un progetto di interventi sul manufatto, perché si configura come la rappresentazione infografica e oggettiva della realtà dal punto di vista formale.

5.4.4 LA MODELLAZIONE PARAMETRICA IN AMBIENTE BIM

La fase più significativa del BIM Surveying ha riguardato la modellazione parametrica del Castello in ambiente BIM. Il software impiegato per le elaborazioni è Revit Architecture 2013. Una volta impostate le coordinate geografiche del sito su cui sorge il manufatto – Francolise (Fig. 86) –, è stato importato il modello a nuvola di punti (Fig. 87) e sono stati definiti (in una delle viste in prospettiva) i cosiddetti livelli, ovvero i piani locali di riferimento corrispondenti all'estradosso dei solai che risultano indispensabili per le successive operazioni (Fig. 88). Prima di intraprendere la modellazione parametrica tridimensionale, si è preferito definire a priori le proprietà grafiche di output e, soprattutto, le caratteristiche prestazionali degli elementi costruttivi di cui si compone il Castello (conducibilità termica, densità e porosità delle murature, stratigrafia dei solai e caratteristiche di ogni parte, e così via) utilizzando valori presenti in letteratura (per esempio, per caratterizzare dal punto di vista energetico la muratura, si è fatto riferimento ai dati indicati nella norma UNI/TS 11300-1 "Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione

estiva ed invernale”). Occorre precisare che queste operazioni di definizione dei materiali, per la natura stessa dei software parametrici, sono implementabili in qualsiasi fase della progettazione.

Lo step successivo ha riguardato la modellazione delle murature, che ha necessitato di un approccio più attento rispetto alle medesime elaborazioni condotte per il Padiglione Militare. Ciò è stato dovuto alla maggiore irregolarità in pianta e in alzato delle strutture murarie, per le quali la presenza del modello a nuvola di punti come guida alla modellazione è stata fondamentale (Fig. 89).

I solai, invece, sono stati modellati come per il primo caso studio, andando a creare nuove famiglie di oggetti bim corrispondenti ai tipi di solai presenti nella realtà: per il solaio composto da travi in legno lamellare e soletta in calcestruzzo armato, ad esempio, è stata creata una porzione del corrispondente solaio bim arricchito dalle proprietà dei vari componenti. Una volta personalizzato il building information model con le caratteristiche geometriche, tecnologiche ed energetiche di ogni componente, non è stato possibile entrare nel merito della definizione dei parametri strutturali poiché il software, nato essenzialmente per far fronte alla progettazione di costruzioni in calcestruzzo armato e in acciaio, non annovera moduli dedicati alla caratterizzazione fisica e meccanica delle murature.

In definitiva, il modello parametrico del Castello di Francolise (Fig. 90) è stato realizzato da una persona in sei giorni di elaborazioni. Il primo ed immediato vantaggio riscontrabile è la possibilità di ottenere qualsiasi tipo di elaborato bidimensionale (piante, sezioni e prospetti) in pochi secondi, con la certezza di una assoluta corrispondenza tra i grafici. È possibile, inoltre, redigere in automatico tabelle e abachi relativi agli ambienti, alle superfici, alle quantità dei materiali (indispensabili per impostare in maniera giusta un computo metrico degli interventi in progetto). Il modello, infine, potendo essere implementato e modificato di volta in volta in base alle idee del team di progettazione, può dare risposte veloci, ad esempio, sul comportamento energetico (considerando che può essere anche arricchito dei vari impianti tecnologici), o

sull'impatto architettonico di alcune scelte (grazie alla possibilità di ottenere velocemente viste prospettiche o render).



Fig. 78 Il castello di Francolise



Fig. 79 Foto del prospetto prospiciente la corte

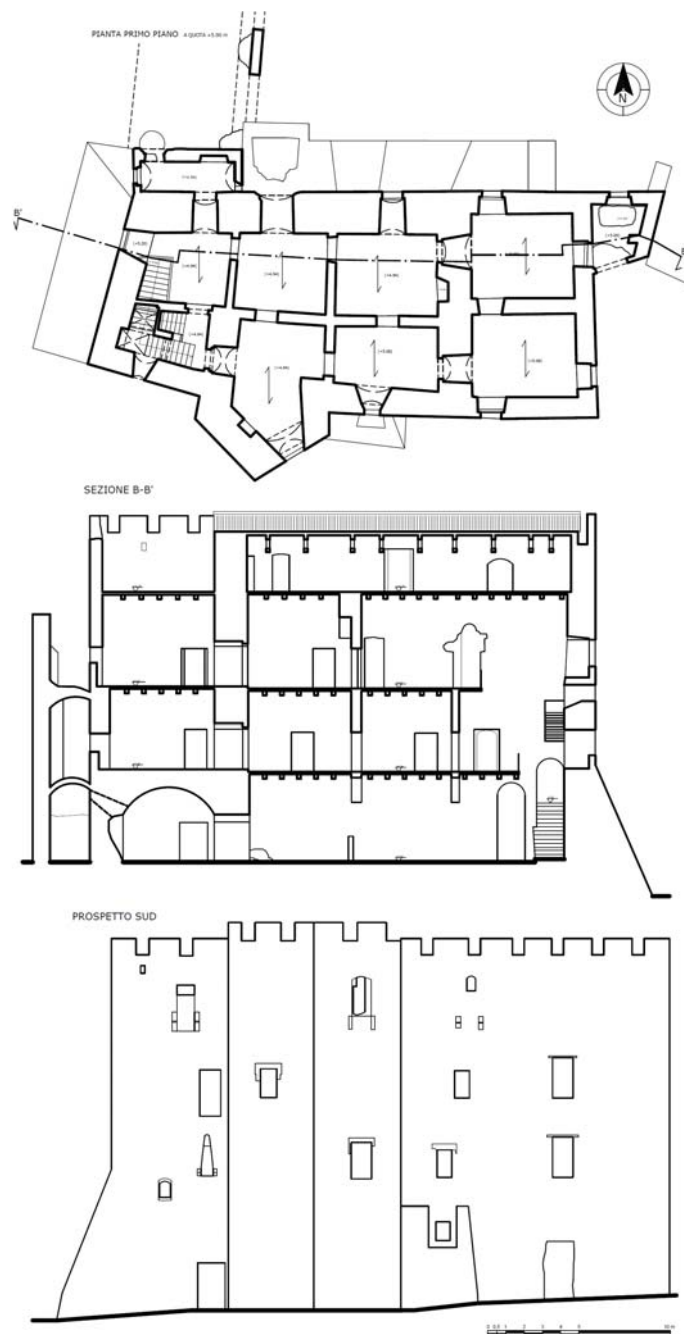


Fig. 81 Una pianta, una sezione e un prospetto elaborate in ambiente CAD

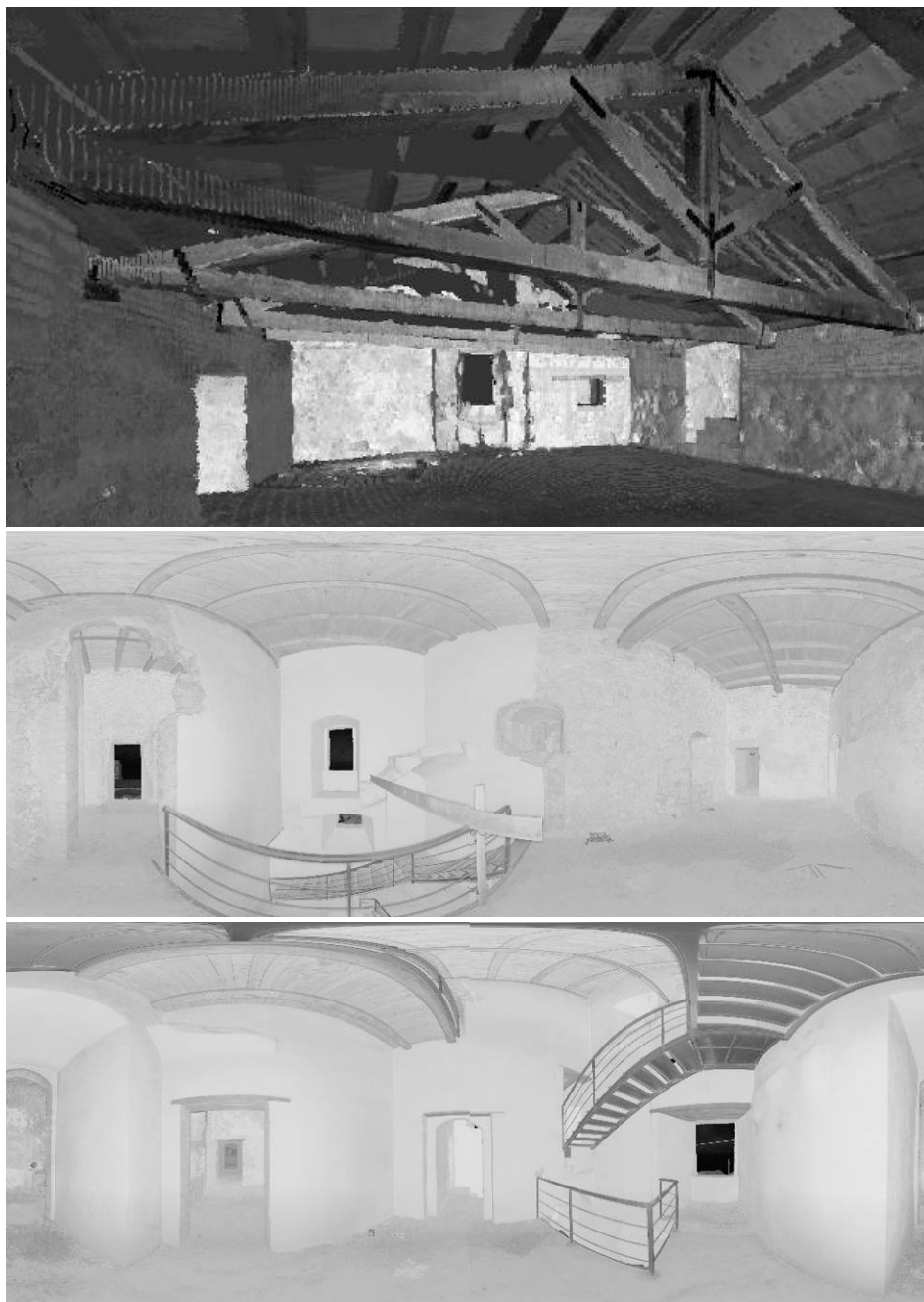


Fig. 82 Alcune preview delle scansioni dell'interno del Castello

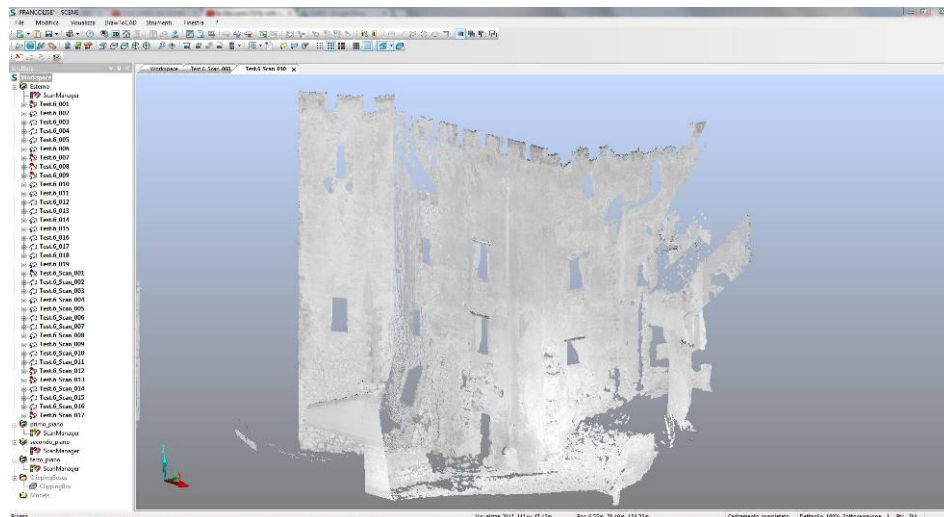


Fig. 83 Una delle scansioni dell'esterno del Castello in ambiente Scene



Fig. 84 Modello completo a nuvola di punti del Castello in ambiente Faro Scene 5.1

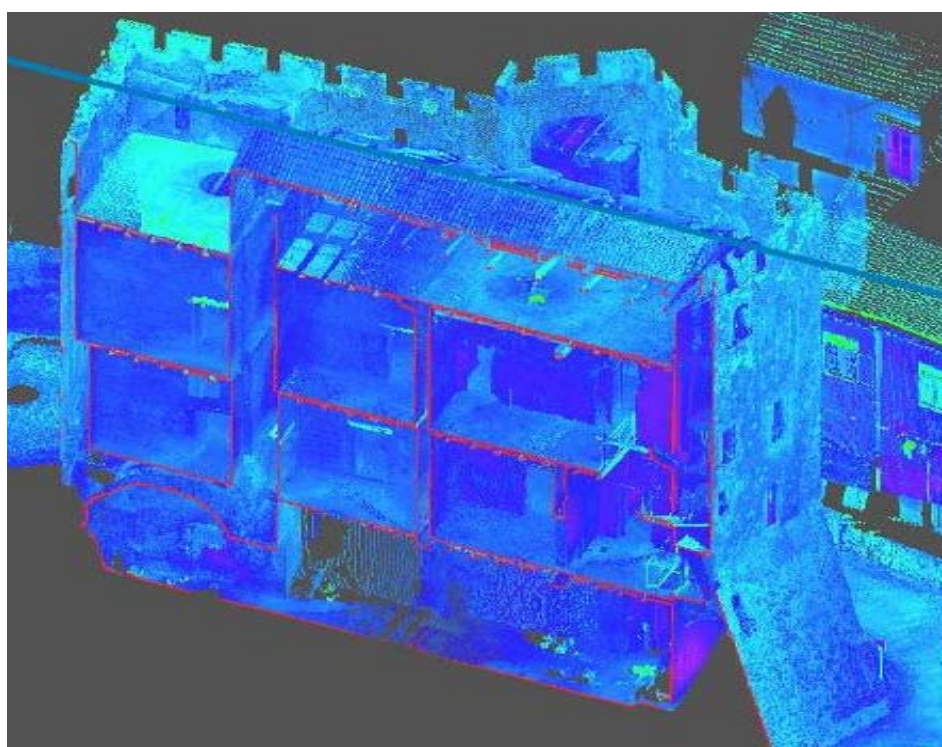
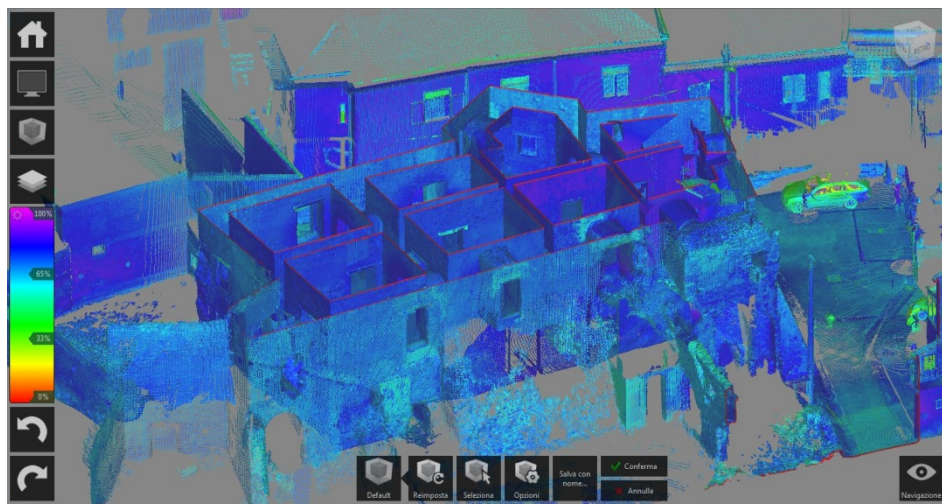


Fig. 85 Modello a nuvola di punti del Castello sezionato con un piano orizzontale (in alto) e con un piano verticale (in basso)

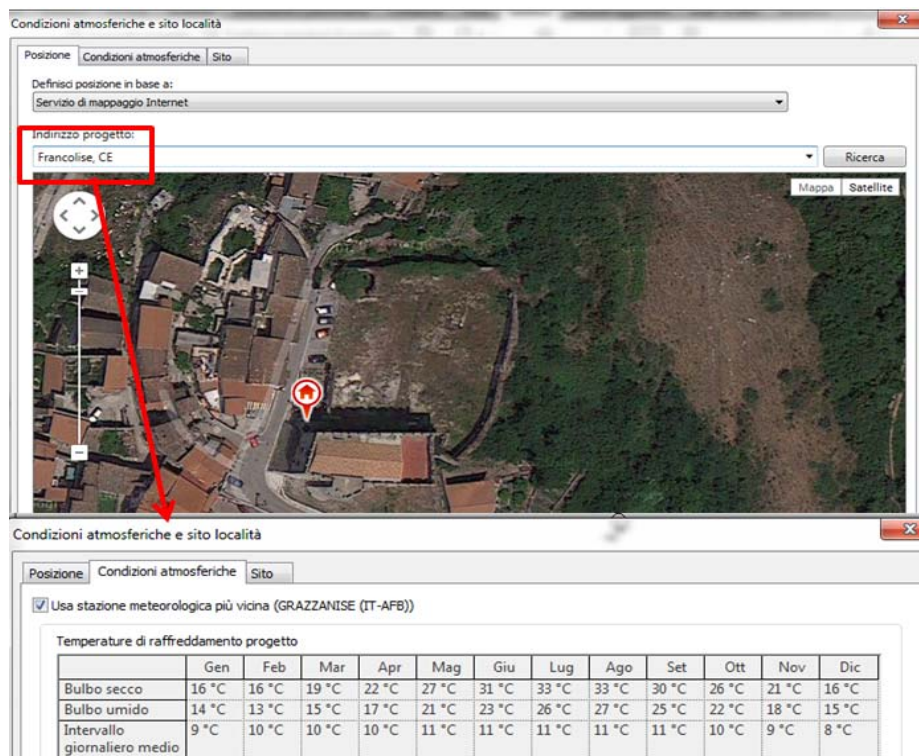


Fig. 86 Definizione del sito e delle condizioni meteorologiche

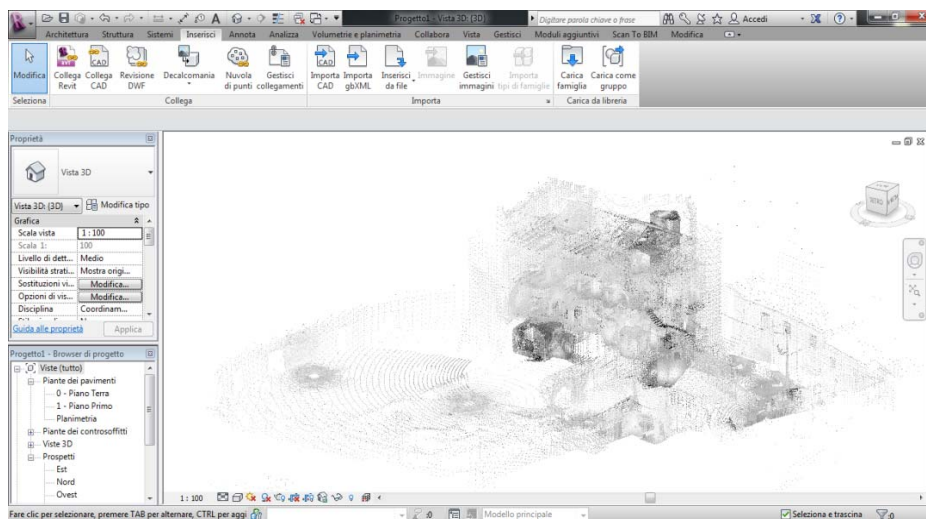


Fig. 87 Il modello a nuvola di punti del Castello importato in Revit

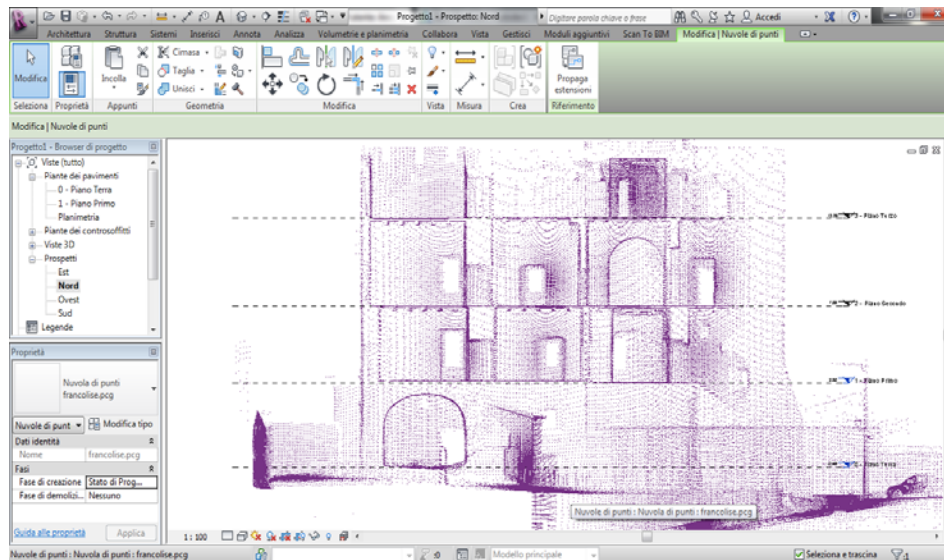


Fig. 88 Definizione dei piani di riferimento, o livelli, sulla nuvola di punti in ambiente BIM

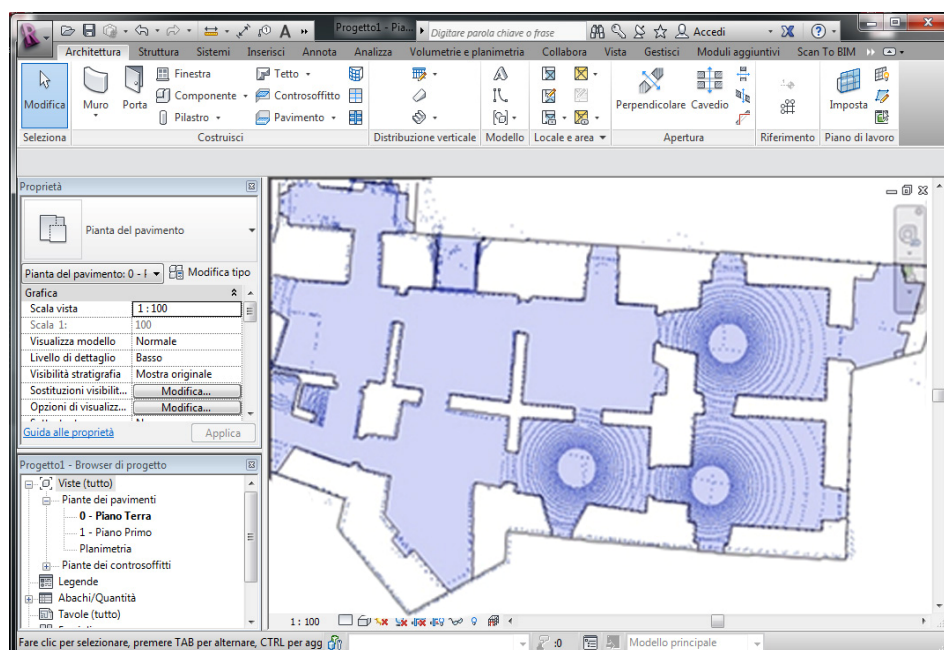


Fig. 89 La modellazione dei muri con riferimento la nuvola di punti

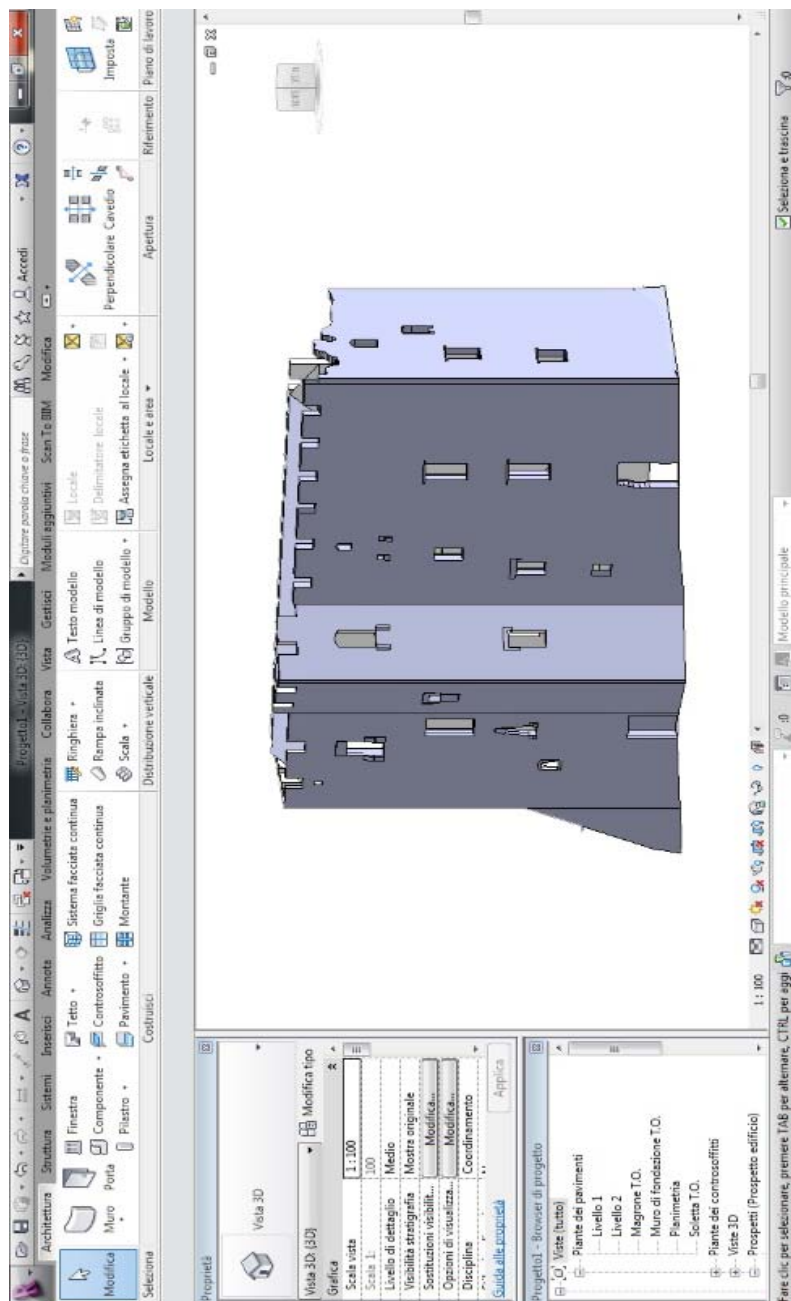


Fig. 90 Il building information model del Castello di Francolise

5.5 ANALISI DEI DATI E RISULTATI OTTENUTI

I due casi studio hanno messo in evidenza alcuni aspetti interessanti delle applicazioni effettuate e degli studi condotti. Innanzitutto, come si evince dalla tabella 5 riportata a fine paragrafo, si è riscontrata una notevole differenza nei tempi di elaborazione dei dati tra i due processi messi a confronto. Il fattore che maggiormente ha contribuito a tale risultato è, senza dubbio, l'impiego della strumentazione laser-scanner nella fase di rilievo per il BIM Surveying.

Nel primo caso studio, infatti, il rilievo diretto ha visto coinvolte cinque persone per sette giorni (per un totale, quindi, di 35 'uomini-giorno'), contro i tre giorni effettivi impiegati da una sola persona per l'acquisizione metrica tridimensionale con laser-scanner. Il risparmio di tempo ottenuto nella fase di rilievo, ragionando in termini di uomini-giorno, è stato di circa il 90%. La stessa considerazione va fatta per le applicazioni sul Castello di Francolise: il rilievo tradizionale diretto ha richiesto l'impiego di 20 uomini-giorno (con la stessa squadra del caso precedente, composta da cinque persone per quattro giorni di rilievi), mentre il rilievo con laser-scanner si è concluso in un solo giorno di acquisizioni, con un risparmio di uomini-giorno del 95%.

Le successive fasi di elaborazione dei dati metrici acquisiti hanno prodotto (sia per il Padiglione Militare che per il Castello) risultati differenti per qualità e quantità di informazioni. All'interno del processo tradizionale, lo step successivo al rilievo diretto si è configurato semplicemente come la digitalizzazione infografica bidimensionale – in ambiente CAD – degli eidotipi schizzati e delle misure annotate in sede di rilievo. Sono stati prodotti, quindi, un numero limitato di piante, sezioni e prospetti di entrambi gli edifici storici. Nel BIM Surveying, invece, le nuvole di punti generate dallo strumento di acquisizione hanno richiesto una prima fase di post-processamento dei dati al fine di ottenere, successivamente, i modelli tridimensionali degli edifici in questione. Un tale modello, come detto, rappresenta già di per sé una base di dati ricca di informazioni, non paragonabile a quella contenuta in pochi grafici bidimensionali: si pensi, ad esempio, alla possibilità di 'interrogare' metricamente e formalmente il modello 3D a nuvola di punti in qualsiasi momento, o di ricavare un numero illimitato di piante e sezioni a qualsiasi quota e sempre coerenti tra di loro.

L'approccio alla progettazione con il metodo tradizionale adottato si è concluso, quindi, con la redazione degli elaborati grafici che garantiscono, chiaramente, solo informazioni di natura geometrica e, inoltre, notevolmente discretizzate. Per il caso studio del Padiglione Militare, questo passaggio (digitalizzazione grafica delle misurazioni in ambiente CAD) è stato completato da una persona in undici giorni di lavoro (producendo tre piante, sette sezioni e due prospetti del manufatto), mentre la parallela fase di elaborazione delle nuvole di punti è stata condotta in due giorni di elaborazioni – sempre da una sola persona – con una ulteriore contrazione dei tempi di circa l'80 %. Per il caso studio del Castello di Francolise, l'analoga fase del processo tradizionale è stata condotta in otto giorni di elaborazioni al CAD (producendo quattro piante, quattro sezioni e quattro prospetti), mentre per il BIM Surveying le elaborazioni delle nuvole di punti sono state ultimate in un sol giorno, con un risparmio di tempo nell'ordine dell'87 %.

Mentre il processo tradizionale analizzato, come detto, si è concluso con le elaborazioni al CAD, il BIM Surveying è proseguito con la realizzazione dei building information models degli edifici storici assunti a caso studio, sfruttando la presenza dei modelli 3D a nuvola di punti. Il bim del Padiglione Militare è stato elaborato in otto giorni, mentre quello del Castello in sei. Il primo e immediato vantaggio riscontrabile avendo a disposizione un modello parametrico integrato con un database di informazioni sulle caratteristiche dei materiali, è la possibilità di ottenere elaborati bidimensionali (piante, sezioni e prospetti) a qualsiasi quota, con pochi e immediati passaggi e con la certezza di una assoluta corrispondenza tra di essi. È possibile, inoltre, redigere in automatico tabelle e abachi relativi agli ambienti, alle superfici, alle quantità dei materiali (indispensabili, ad esempio, per impostare in maniera giusta un computo metrico degli interventi in progetto). Il modello, infine, potendo essere implementato e modificato di volta in volta in base alle idee del team di progettazione, può dare risposte veloci sul comportamento energetico (considerando che può essere anche arricchito degli impianti tecnologici), o sull'impatto architettonico di alcune scelte (grazie alla possibilità di ottenere velocemente viste prospettiche e render).

Tab. 5 Prospetto riassuntivo dei due processi a confronto

	PADIGLIONE MILITARE		CASTELLO	
	Rilievo		Rilievo	
	2	Indiretto	Diretto	Indiretto
tecnici coinvolti	5	1	5	1
giorni lavoro	7	3	4	1
elementi prodotti	73 eidotipi	173 scansioni	48 eidotipi	36 scansioni
	Elaborazione dati		Elaborazione dati	
	CAD 2D	Nuvole di punti	CAD 2D	Nuvole di punti
tecnici coinvolti	1	1	1	1
giorni lavoro	11	2	8	1
elementi prodotti	3 piante, 7 sez., 2 prosp.	modello a nuvola di punti	4 piante, 4 sez., 4 prosp.	modello a nuvola di punti
		Modellazione parametrica		Modellazione parametrica
tecnici coinvolti		1		1
giorni lavoro		8		6
elementi prodotti		bim		bim
"uomini-giorno"	46	13	28	8

Si pensi, quindi, ai benefici, in termini di tempo e di qualità della progettazione, che un team di tecnici avrebbe se una committenza (pubblica o privata) fosse in grado di mettere a disposizione uno strumento simile. Si contrarrebbero i tempi per l'espletamento delle varie fasi della progettazione e, contestualmente, si commetterebbero meno omissioni, errori e inesattezze.

Infine, una ulteriore considerazione riguarda l'aspetto economico legato ai due processi analizzati. Per quanto riguarda il processo tradizionale di rilievo diretto ed elaborazione grafica al CAD, i costi che una committenza dovrebbe sostenere sono quelli legati essenzialmente agli onorari di tecnici comuni, in grado di utilizzare strumenti e software diffusi nella pratica professionale²⁸.

²⁸ Volendo quantificare i costi presumibili (gli onorari) per il rilievo e la restituzione infografica del Padiglione Militare della ex Caserma 'Sacchi', si può far riferimento alla "Tabella B3.2 - Onorario relativo a rilievi di manufatti" del D.M. 4/04/2001 "Aggiornamento degli onorari spettanti agli ingegneri e agli architetti". Dalla tabella si ricavano

Per il BIM Surveying, invece, i costi unitari risultano maggiori poiché notevolmente influenzati sia dall'impiego di strumenti altamente tecnologici (i laser-scanner, appunto) sia dalla presenza di tecnici specializzati nelle elaborazioni delle nuvole di punti e nella modellazione BIM²⁹. Di contro, però, si è visto che il BIM Surveying riduce l'entità uomini-giorno di circa il 70 % rispetto all'approccio tradizionale. Per questo motivo, infatti, il processo che sfrutta le potenzialità offerte dal rilievo tridimensionale e dalla modellazione parametrica risulta più conveniente, con un risparmio economico di circa il 20 % per entrambi i casi studio analizzati.

gli onorari in base ai metri quadri e ai metri cubi che compongono l'edificio. Considerando una restituzione in scala 1:50 e "ambienti di varia forma e grandezza", si evince che l'onorario ammonta a 0,67 €/m² per le piante più un compenso fisso di € 22,18 per ogni piano, a 0,89 €/m² per i prospetti e a 0,46 €/m³ per le sezioni. Tralasciando lo sviluppo dei calcoli, il totale ammonterebbe a circa 7000 euro.

²⁹ Ad oggi non esistono normative che definiscono chiaramente gli onorari per i tecnici che impiegano tecnologie laser-scanner e BIM. La valutazione, quindi, dipende molto dai contesti e dal mercato. In media, ogni giorno di rilievo con laser-scanner costa al committente una cifra che varia dagli 800 ai 1200 euro, ogni giorno di elaborazione delle nuvole di punti si può quantificare tra i 300 e i 500 euro mentre ogni giorno di modellazione in ambiente BIM tra i 150 e i 300 euro. Pertanto, per il caso del Padiglione Militare, il totale degli onorari ammonterebbe a circa 5600 euro.

CONCLUSIONI

La ricerca condotta sul tema della progettazione parametrica integrata e le applicazioni del BIM Surveying al patrimonio storico hanno portato ad elaborare una serie di considerazioni in merito al Building Information Modeling.

Da un attento studio della letteratura di riferimento sull'argomento e dell'organizzazione normativa di alcuni Paesi – specialmente quelli anglosassoni – relativa al mondo delle costruzioni, è emerso che il futuro, non troppo remoto, della gestione del processo edilizio durante l'intero ciclo di vita del fabbricato (dalla ideazione alla progettazione, dalla cantierizzazione alla manutenzione e gestione), si sta indirizzando verso l'adozione di nuove metodologie di lavoro e di nuovi e più avanzati strumenti informatici. Oggi il loro utilizzo si sta diffondendo in quelle Nazioni che indirizzano maggiormente i loro investimenti nella ricerca, nella formazione continua ed nello sviluppo tecnologico.

Dall'analisi di casi studio di progettazione BIM e dal confronto con altri che utilizzano una gestione di tipo tradizionale delle commesse di medio-grandi dimensioni, si è appurato che la scarsa interoperabilità tra i soggetti coinvolti genera, inevitabilmente, una lungaggine nei tempi di realizzazione dei lavori e un cattivo uso delle risorse finanziarie. Il Building Information Modeling, nato per far fronte a queste e ad altre esigenze di ottimizzazione del processo, si sta configurando come un buon approccio gestionale, prima che progettuale e tecnologico. I Paesi che già lo adoperano (Regno Unito, Paesi Scandinavi, Stati Uniti d'America, Emirati Arabi, solo per citarne alcuni) hanno riscontrato notevoli benefici in tutte le fasi del processo edilizio, specialmente in quella della progettazione, allorché le tante e diverse figure coinvolte hanno la necessità di comunicare con un linguaggio chiaro ed univoco, limitando incomprensioni ed elaborazioni ridondanti.

Se nell'ambito delle nuove costruzioni, la progettazione parametrica ed integrata si sta diffondendo rapidamente (e ciò è dimostrato anche dall'emanazione, in molte Nazioni, di direttive e normative riguardanti l'introduzione del BIM nei lavori pubblici), dalla ricerca condotta è stato possibile verificare che per quanto concerne il suo impiego sui manufatti esistenti (allo

scopo, per esempio, di progettare interventi di manutenzione, recupero, riqualificazione energetica, demolizione e ricostruzione), il Building Information Modeling sta compiendo solo i primi passi. Le maggiori applicazioni si riscontrano in quei settori delle costruzioni caratterizzati da elementi ritenuti 'standardizzabili', cioè facilmente modellabili in ambiente BIM, come quelli appartenenti ad edifici industriali, ad infrastrutture, all'edilizia residenziale moderna e contemporanea. La sua implementazione, invece, nell'ambito del costruito storico è ancora in fase di sperimentazione per la sussistenza di non poche difficoltà legate specialmente alla unicità (geometrica, tecnologica, prestazionale) di gran parte degli elementi costruttivi di cui si compone una fabbrica antica.

L'aspetto più innovativo dei primi tentativi di applicazione del BIM al costruito storico, che si sta sviluppando per risolvere i problemi accennati, riguarda l'interazione tra la progettazione parametrica e i dati provenienti da rilievi con laser-scanner. Quest'ultimo, infatti, consente di ottenere un modello tridimensionale a nuvola di punti molto dettagliato del manufatto che può essere sfruttato come 'guida' alla modellazione.

Il BIM Surveying, così denominato da coloro che si stanno cimentando nella sperimentazione, comporta una indispensabile collaborazione tra tecnici specializzati nella modellazione in ambiente BIM e figure professionali competenti nell'uso degli strumenti di acquisizione (i laser-scanner, appunto) e, soprattutto, nell'elaborazione dei dati (le nuvole di punti).

Attraverso il rilievo laser-scanner e la successiva modellazione parametrica di due manufatti storici scelti come casi studio (il Padiglione Militare della ex Caserma 'Sacchi' a Caserta e il Castello di Francolise, in provincia di Caserta), questo lavoro di tesi ha voluto evidenziare che, proprio grazie al BIM Surveying, è possibile estendere il campo di applicazione della metodologia BIM al costruito storico e che ciò consente, a coloro che progettano interventi su di esso, di sfruttare buona parte dei vantaggi (già ampiamente descritti) di cui usufruiscono i processi progettuali relativi agli edifici di nuova costruzione. Naturalmente, non essendo la metodologia consolidata, necessita di ulteriori implementazioni e verifiche.

Per avvalorare quanto sostenuto in precedenza, è stato condotto uno specifico confronto sui casi studio prescelti tra l'applicazione sia del BIM Surveying che della metodologia di rilievo e restituzione che utilizza approcci e strumenti di tipo tradizionale. La prima metodologia è risultata la migliore sia in termini di produttività (tempi complessivi richiesti e quantità di uomini-giorno impiegata) e di qualità del lavoro (precisione e quantità delle informazioni dei risultati ottenuti), che economici. Una ulteriore questione da considerare, contestualmente ai risultati dei confronti effettuati, riguarda la quantità di informazioni provenienti dagli 'output' prodotti. Se dal processo tradizionale si ottiene solo un limitato numero di elaborati CAD bidimensionali, il prodotto finale del BIM Surveying, invece, è rappresentato da un building information model, cioè da un modello tridimensionale caratterizzato da una gran quantità di informazioni, un vero e proprio prototipo infografico dell'edificio su cui intervenire.

Le potenzialità offerte dalla disponibilità di un simile modello sono molteplici: ottenere prospetti e sezioni orizzontali e verticali a qualsiasi quota, abachi e computi dei materiali e degli ambienti, la caratterizzazione degli elementi costruttivi, analisi preliminari sulle condizioni energetiche, e così via. Infine, dalle applicazioni condotte sulla modellazione parametrica del costruito storico è stato possibile individuarne anche alcuni limiti. Anche se la modellazione non ha comportato grandi difficoltà per i casi studio indagati, poiché caratterizzati da una non eccessiva irregolarità delle strutture murarie e dall'assenza di elementi ornamentali, si è assunta la consapevolezza che, nel caso di manufatti che presentano forme e soprattutto dettagli più complessi, il raggiungimento del risultato finale potrebbe richiedere l'implementazione di ulteriori specifiche procedure.

Un limite, invece, che attualmente impedisce la completa definizione di un modello BIM di un edificio storico è l'assenza, all'interno dei software dedicati, di uno specifico modulo per la modellazione strutturale di costruzioni in muratura. Il software BIM impiegato nel lavoro di tesi per le elaborazioni (Revit), consente di definire le informazioni relative alle condizioni di carico, alla natura dei vincoli

e alle proprietà meccaniche soltanto di elementi in calcestruzzo armato e in acciaio. Per quanto riguarda l'analisi e il calcolo strutturale, ciò comporta che sarà possibile esportare nei programmi di calcolo strutturale dedicati soltanto il modello geometrico tridimensionale; i modelli bim di edifici di nuova costruzione, invece, possono essere importati in molti software di calcolo conservando tutti i dati di input definiti in ambiente BIM.

A valle di queste considerazioni si possono delineare alcuni possibili sviluppi della ricerca che riguardano sia aspetti prettamente legati agli strumenti informatici di progettazione BIM, che aspetti inerenti la metodologia. Per velocizzare la modellazione parametrica 'intelligente' degli elementi architettonici che caratterizzano l'edilizia storica (basi ornamentali, capitelli, paraste, capriate, cornici e portali, solo per citarne alcuni), una possibile soluzione potrebbe essere l'implementazione di librerie di oggetti bim con famiglie di elementi creati ad hoc ed editabili nelle dimensioni, nelle forme e nelle proprietà fisico-meccaniche. Ulteriori passi in avanti potrebbero essere compiuti, dal punto di vista della programmazione informatica, pensando di integrare specifici moduli dedicati alla muratura portante.

Una ulteriore considerazione riguarda il BIM Surveying. Applicato al patrimonio edilizio storico potrebbe trasformarsi in un valido strumento nelle mani delle Pubbliche Amministrazioni per la formazione di un 'cultural heritage smart cataloguing'. La catalogazione intelligente del patrimonio storico, ovvero la realizzazione di una banca dati di modelli bim degli edifici che necessitano di interventi (in senso lato), faciliterebbe l'emanazione di bandi di progettazione riducendo i tempi, le interferenze e i rischi di fallimento. Si pensi, in tal senso, alla quantità di fondi strutturali europei che ogni anno le Pubbliche Amministrazioni non sono in grado di spendere – circa la metà – proprio a causa dell'inefficienza dell'intera filiera.

In ogni caso, la sfida più importante riguarda senza dubbio la sensibilizzazione dei soggetti coinvolti sui temi trattati.

RINGRAZIAMENTI

Durante il percorso del Dottorato di Ricerca ho innanzitutto avuto modo di alimentare e rafforzare i rapporti con i professori che mi avevano già seguito in occasione della stesura della Tesi di Laurea. È per me un piacere ringraziare nuovamente – ma con spirito diverso e, credo, più maturo rispetto a quello di più di tre anni fa – il prof. Enrico Sicignano, che sin dal primo giorno di Dottorato ha riposto in me molte aspettative concedendomi piena fiducia e autonomia nel lavoro che mi spettava; il prof. Salvatore Barba, che mi ha introdotto nel mondo del Building Information Modeling e che ha messo a disposizione buona parte della strumentazione hardware e software utilizzata per le numerose elaborazioni; il prof. Vito Cardone, pronto, in ogni momento, a dispensare preziosi consigli.

Grazie agli amici e ai colleghi di Architettura Tecnica, di Disegno, di Composizione e di Urbanistica con i quali ho condiviso piacevoli momenti nel Laboratorio T26 e non solo.

Ringraziamenti particolari vanno ad Emanuela, sempre pronta ad incoraggiarmi e ad aiutarmi nelle lunghe e, spesso, complicate elaborazioni dei dati mettendo a disposizione il suo prezioso tempo e le sue abilità; a mia sorella Carmela, a mia madre Agnese, a mio padre Pasquale e alle nonne Carmela e Maria per il loro incondizionato sostegno ed entusiasmo.

Saverio D'Auria, Aprile 2014

INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE

Pag.	Fig.	Didascalia	Fonte/Autore
Capitolo 1			
12	1	Gestione del ciclo di vita di un edificio con la metodologia BIM	autodesk.it
14	2	Soggetti coinvolti in un team di progettazione	Eastman, 2007
18	3	Scambio di dati tra gli attori del processo edilizio: a sinistra in ambito tradizionale, a destra in ambito BIM	futurebuild.wordpress.com
19	4	Le differenti componenti di un building information model: (dall'alto) modello architettonico, modello strutturale ed impiantistico integrato, modello per la programmazione logistica del cantiere, computo delle quantità	Azhar et al., 2008
21	5	Curva di MacLeamy	bimacademy.it
23	6	Ritorno dell'investimento a seguito dell'adozione del BIM	*
25	7	A sinistra uno spaccato del bim contenente gli aspetti architettonici, strutturali ed impiantistici. A destra l'edificio realizzato	Mortenson, 2009
26	8	Analisi delle fasi costruttive del piano interrato e clash detection	Mortenson, 2009
Capitolo 2			
28	9	Linee guida sul BIM della Finlandia (a sinistra) e della Norvegia (a destra)	bim.natspec.org statsbygg.no
31	10	I principali enti coinvolti nella diffusione del BIM	Osello, 2012
34	11	Classificazione dei più diffusi modelli organizzativi del processo edilizio	*
36	12	Gli approcci in cui è prevalente la responsabilità del committente	Missori, 2011
39	13	Gli approcci in cui è prevalente la responsabilità del costruttore	Missori, 2011
45	14	Struttura organizzativa del partenariato InnovANCE	InnovANCE, 2012
46	15	Struttura di lavoro SEEMPUBS per la modellazione BIM di edifici esistenti	Osello, 2012
Capitolo 3			
51	16	I ruoli all'interno di un BIM team	
52	17	A sinistra lo Sketchpad, a destra il 'tecnigrafo elettronico'	Garzino, 2011
53	18	L'impiego del CAD e del BIM nel settore AEC statunitense	Deutsch, 2011
55	19	Evoluzione degli strumenti informatici per la progettazione	*
56	20	Dallo schizzo a mano (in basso) al modello bim (in alto), passando per il disegno al CAD e la modellazione 3D	nemetschek-allplan.it
58	21	Interfaccia grafica di Allplan	*
59	22	Interfaccia grafica di Revit	autodesk.it
60	23	Individuazione del sito oggetto di interventi	*

61	24	Tabella delle condizioni atmosferiche del sito	*
62	25	Definizione delle caratteristiche geometriche e fisiche della tamponatura	*
62	26	Definizione delle caratteristiche geometriche, fisiche e meccaniche del solaio	*
63	27	Definizione delle proprietà meccaniche del calcestruzzo gettato in opera	*
63	28	Il modello bim di un impianto igienico-sanitario	Ciribini, 2013
64	29	Finestre di lavoro visualizzabili contemporaneamente in ambiente BIM	*
65	30	In alto un modello strutturale in Revit, in basso lo stesso modello in CDSWin	D'Auria, Barbatto, 2013
66	31	Dal modello architettonico al modello energetico	Kymmell, 2008
68	32	Due dei più importanti 'open standard' impiegati nel settore AEC	gbxml.org; ifc.org
Capitolo 4			
70	33	Un laser-scanner a tempo di volo per il rilievo di grandi oggetti	leica-geosystems
71	34	Sviluppo della tecnologia laser-scanner	Randall, 2013
72	35	Livelli di impegno nel processo di rilievo con laser-scanner	Randall, 2013
73	36	La nuvola di punti della torre di ingresso di un castello	*
74	37	Registrazione manuale di due scansioni con software di reverse engineering	*
75	38	Il modello completo a nuvola di punti di un castello	*
76	39	Nuvola di punti texturizzata ad alta risoluzione	*
78	40	BIM Surveying workflow	Randall, 2013
79	41	Barra multifunzione del plug-in Scan-to-BIM in ambiente Revit	*
80	42	Modellazione automatica di una muratura sfruttando la nuvola di punti	imaginit.com
81	43	Modellazione automatica di un infisso esterno sfruttando la nuvola di punti	imaginit.com
81	44	Modellazione automatica di una tubazione sfruttando la nuvola di punti	imaginit.com
82	45	BIM Surveying di un ponte in acciaio: rilievo laser-scanner e modellazione bim	*
83	46	BIM Surveying di un impianto industriale. Da sinistra: foto dell'impianto, modello a nuvola di punti, modello bim	*
83	47	BIM Surveying di edifici residenziali e commerciali	severpartnership.blogspot.com
86	48	Step della modellazione bim di una colonna. Dall'alto: nuvola di punti del rilievo della base importata in Revit; modellazione sulla nuvola di punti; oggetto bim; sovrapposizione del rilievo laser-scanner al modello bim	*

Capitolo 5			
91	49	I due workflow impiegati per i casi studio	
93	50	L'intero complesso della ex Caserma 'Sacchi'	maps.google.it
93	51	Il Padiglione Militare prima degli ultimi interventi parziali di recupero	bing.com/maps
95	52	Uno degli eidotipi del primo piano della torre latrina	*
96	53	Una pianta e una sezione elaborate in ambiente CAD	*
98	54	Interfacce di comando del laser-scanner corrispondenti ai rilievi degli ambienti esterni (a sinistra) e di quelli interni (a destra)	*
99	55	Alcune preview delle scansioni del Padiglione militare	*
100	56	Settaggio delle operazioni di allineamento semi-automatico in Scene	*
101	57	Visualizzazione rapida di una scansione prima (in alto) e dopo (in basso) aver lanciato il comando di riconoscimento automatico dei target sferici e piani	*
102	58	Modello completo allineato del Padiglione militare visto dall'esterno	*
103	59	Vista 3D di una finestra selezionata tramite la casella di ritaglio	*
103	60	Definizione del piano di sezione per la realizzazione della clipping box	*
104	61	Realizzazione di una sezione orizzontale del modello ad una certa quota (individuata con una polilinea gialla nell'immagine precedente)	*
104	62	Realizzazione di una sezione verticale e trasversale del modello	*
105	63	Modello a nuvola di punti sezionato con un piano verticale e longitudinale	*
106	64	Definizione del sito e delle condizioni meteorologiche	*
107	65	Definizione delle proprietà grafiche (a sinistra) e termiche (a destra) del tufo	*
108	66	Settaggio delle caratteristiche geometriche e prestazionali degli infissi esterni	*
108	67	Il comando 'Nuvola di punti' nella barra multifunzione 'Inserisci' di Revit	*
109	68	Il modello a nuvola di punti in ambiente BIM	*
110	69	Definizione dei piani di riferimento, o livelli, sulla nuvola di punti	*
111	70	Definizione della categoria 'muri' per i nuovi componenti bim (a sinistra); comando 'linea' utilizzato per disegnare il perimetro delle strutture murarie (a destra)	*
111	71	Disegno bidimensionale delle murature seguendo la nuvola di punti	*

112	72	Definizione dei contorni delle murature al piano terra in ambiente BIM	*
112	73	Modellazione bim del piano terra con muri, porte e finestre	*
113	74	Modellazione parametrica dei travetti per il 'solaio con putrelle e voltine in tufo'	*
114	75	Modellazione parametrica delle voltine per il 'solaio con putrelle e voltine in tufo'	*
114	76	La nuova 'famiglia bim' corrispondente al solaio con putrelle e voltine in tufo	*
115	77	Il building information model del Padiglione Militare della ex Caserma 'Sacchi'	*
120	78	Il castello di Francolise	maps.google.it
120	79	Foto del prospetto prospiciente la corte	panoramio.com
121	80	Due dei 48 eidotipi prodotti per il rilievo diretto del Castello	*
122	81	Una pianta, una sezione e un prospetto elaborate in ambiente CAD	*
123	82	Alcune preview delle scansioni dell'interno del Castello	*
124	83	Una delle scansioni dell'esterno del Castello in ambiente Scene	*
124	84	Modello completo a nuvola di punti del Castello in ambiente Faro Scene 5.1	*
125	85	Modello a nuvola di punti del Castello sezionato con un piano orizzontale (in alto) e con un piano verticale (in basso)	*
126	86	Definizione del sito e delle condizioni meteorologiche	*
126	87	Il modello a nuvola di punti del Castello importato in Revit	*
127	88	Definizione dei piani di riferimento, o livelli, sulla nuvola di punti in ambiente BIM	*
127	89	La modellazione dei muri con riferimento la nuvola di punti	*
128	90	Il building information model del Castello di Francolise	*

Pag.	Tab.	Didascalia	Fonte
Capitolo 1			
16	1	Costi dovuti alla inadeguata interoperabilità nel settore AEC statunitense	Gallaher et al., 2002
17	2	Costi dovuti all'inadeguata interoperabilità nel settore AEC statunitense durante l'intero ciclo di vita dei fabbricati	Gallaher et al., 2003
Capitolo 5			
97	3	Settaggi del laser-scanner	*
117	4	Settaggi del laser-scanner	*
132	5	Prospetto riassuntivo dei due processi a confronto	*

* Saverio D'Auria

BIBLIOGRAFIA

AA. VV., *AEC (UK) BIM Protocol Implementing UK BIM Standards for the Architectural, Engineering and Construction industry*, United Kingdom, 2012

AA. VV., *Common BIM Requirements 2012*, COBIM project, Finlandia, 2012

AA. VV., *NATSPEC National BIM Guide*, Construction Information Systems Limited, Australia, 2011

AA. VV., *Statsbygg BIM Manual 1.2*, Statsbygg , Oslo, Norvegia, 2011

AA. VV., *United States NATIONAL BUILDING INFORMATION MODELING STANDARD. Version 1 - Part 1: Overview, Principles, and Methodologies*, National Institute of BUILDING SCIENCES, USA, 2007

Ahmad, A.; Demian, P.; Price, A. *BIM implementation plans: A comparative analysis*, in: Smith, S. *Proceedings of 28th Annual ARCOM Conference*, 3-5 September 2012, Edinburgh, 2012

AIA California Council, *A Working Definition. Integrated Project Delivery*, McGraw Hill_Construction, Sacramento, California, USA, 2007

Azhar, S. *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry*, Leadership and Management in Engineering, American Society of Civil Engineers Library, Reston, Virginia, 2011

Azhar, S.; Nadeem, A.; Mok, J.; Leug, B. *Building Information Modeling (bim): a new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects*, in: Lodi, S.; Ahmed, S.; Farooqi, R.; Saqib, M. (a cura di), *Proceedings of the First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCICD-I). "Advancing and Integrating Construction Education, Research and practice"*, 4-5 Agosto 2008, Department of Civil Engineering, NED University of Engineering & Technology, Karachi, 2008

Barba, S.; De Feo, E.; D'Auria, S.; Guerriero, L. *Survey and virtual restoration. The castle of Magacela (Spain)*, in: *Proceeding of the 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM) 2012*, 2-5 Settembre 2012, Milano

Barba, S.; Fiorillo, F.; Corder, P. O.; D'Auria, S.; De Feo, E. *An application for cultural heritage in erasmus placement. Surveys and 3D cataloging archaeological finds in Mérida (Spain)*, in: *4th International Workshop "3D-ARCH'2011", 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, Trento, 2-4 marzo 2011

Bianchini, M. *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Aracne Editrice, Roma, 2008

Bragadin, M. *Sicurezza e innovazione nel cantiere di recupero edilizio: l'approccio building information modelling*, in: *IN_BO. Ricerche e progetti per il territorio, la città e l'architettura*, Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, Bologna, dicembre 2012

Cabinet Office of the UK Government, *Government Construction Strategy*, maggio 2001, URL: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61152/Government-Construction-Strategy_0.pdf

Camera dei Deputati, Bollettino delle Giunte e delle Commissioni Parlamentari, XVII Legislatura, martedì 16 luglio 2013, URL: <http://documenti.camera.it/leg17/resoconti/commissioni/bollettini/pdf/2013/07/16/leg.17.bol0056.data20130716.pdf>

Cappochin, S.; Maistri, D.; Torre, A. *Efficienza energetica in architettura. Metodo BIM (Building Information Modeling) e metodo CasaClima per la progettazione di edifici a basso fabbisogno energetico*, Gruppo24Ore, Milano, 2011

Cappochin, S.; Torre, A. *Recupero edilizio e restauro. Sei casi di utilizzo del sistema Building Information Modeling per la progettazione di interventi su edifici da ristrutturare e di valore storico*, Gruppo24Ore, Milano, 2010

Ciribini, A. *L'information Modeling e il settore delle costruzioni: IIM e BIM*, Maggioli Editore, Rimini, 2013

Commissione Europea, *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. Una strategia per gli appalti elettronici*, Bruxelles, 20.4.2012, URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0179:FIN:IT:PDF>

D'Auria, S. *Metodologie e strumenti per la progettazione: il BIM*, in: Di Ruocco G., D'Auria S., Falcone I., Nivelli M., Sabaini Gama M. (a cura di), *Lezioni di Architettura*, CUES Edizioni, Salerno, 2012

D'Auria, S.; Barbato, D. *Standardisation of the design process using BIM software*, in: Gambardella, C. (a cura di), *Le Vie dei Mercanti. Heritage Architecture Landscape design*, Atti del XI Forum Internazionale di Studi Le vie dei Mercanti, 13-15 Giugno 2013, Aversa-Capri, Italia, La scuola di Pitagora editrice, Napoli, 2013

De Luca Picione, M.; Mottola, V. *Il progetto dinamico del cantiere edile*, Gruppo24Ore, Milano, 2009

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

Digital Construction, *3D Working Method 2006*, bips, Ballerup, 2007

Direzione Affari Economici e Centro Studi (a cura di), *Osservatorio congiunturale sull'industria delle costruzioni*, Associazione Nazionale Costruttori Edili ANCE, EDILSTAMPA, Roma, 2012

Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. *BIM handbook. A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008

Eastman, C.; Venugopal, M.; Aram, S. *Industry-Wide National BIM Standard: A Progress Report*, AECbytes "Building the Future" Article, 2011, URL: <http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2011/NBIM-ProgressReport.html>

Fassi, F.; Fregonese, L.; Ackermann, S.; De Troia, V. *Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas*, in: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-5/W1, 2013

Fassi, F.; Parri, S. *Web 3D BIM per i Beni culturali. Prove e sperimentazioni sulla guglia del Duomo di Milano*, in: *Conoscere, Conservare, Valorizzare, Arte Tipografica Editrice*, Roma, 2013

Gaffarello, A. *La progettazione assistita con i sistemi CAD/BIM: nuove soluzioni per la gestione del progetto*, in: *Noi Geometri. Rivista di Tecnica e di Vita Professionale*, USPI, Milano, 05/06.2007

Gallaher, M.; O'Connor, A.; Dettbarn, J.; Gilday, L. *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry*, National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg, Maryland, 2004

Garagnani, S.; Luciani, S.; Mingucci, R. *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*, in: *DISEGNARECON*, Rivista del Dipartimento di Architettura e Pianificazione territoriale dell'Università di Bologna, giugno 2011

Garritano, F. *Building Information Modeling: negli appalti pubblici possibile un risparmio annuo di oltre 100 miliardi di euro nell'UE*, in: *Tecnici24 - IlSole24Ore*, 21 gennaio 2014. URL: <http://www.tecnici24.com/art/progettazione/2014-01-21/building-information-modeling-appalti-145342.php>

Garzino, G. (a cura di) *Disegno (e) in formazione. Disegno politecnico*, Maggioli Editore, Rimini, 2011

Gelder, J.; Tebbit, J.; Wiggett, D.; Mordue, S. *BIM for the terrified. A guide for manufacturers*, Rickaby Thompson Associates, Londra, 2013

General Services Administration, *GSA Building Information Modeling Guide Series 01*, U.S. GSA, Washington, 2007

Gilligan, B.; Kunz, J. *VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity*, CIFE Technical Report, Stanford University, California, 2007

Gleason, D. *Laser Scanning for an Integrated BIM*, Lake Constance 5D-Conference 2013, 28-29 ottobre, Constanza, Trimble Navigation, 2013

Hendrickson, C. *Project Management for Construction. Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders*, Seconda Edizione preparata per il web, URL: <http://pmbook.ce.cmu.edu>

Khemlani, L. *Exploring the National BIM Standard*, AECbytes "Building the Future" Article, 2012, URL: <http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2012/NBIMS.html>

Kiviniemi, A. *Where BIM goes; challenges and promises for the Architecture, Engineering and Construction Industry*, in: Osello A, *op. cit.*

Kymmell, W. *Building Information Modeling. Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*, McGraw_Hill Construction, Sacramento, California, 2008

Lo Turco, M. *Il BIM tra rilievo e progetto: l'utilizzo delle scansioni al laser-scanner in ambiente parametrico*, BIM Academy, 2013, URL: <http://www.bimacademy.it/2013/11/il-bim-tra-rilievo-e-progetto-lutilizzo-delle-scansioni-al-laser-scanner-in-ambiente-parametrico>

Lo Turco, M. *Il Building Information Modeling tra ricerca, didattica e professione*, in: *DISEGNARECON*, Rivista del Dipartimento di Architettura e Pianificazione territoriale dell'Università di Bologna, giugno 2011

Mangiarotti, A.; Paoletti, I. (a cura di) *Dall'idea al cantiere. Progettare, produrre e costruire forme complesse*, Hoepli, Milano, 2008

Miniato, D.; Nale, D. *Autodesk Revit Architecture 2011. Guida completa*, Apogeo, Milano, 2010

Missori, A. *Appunti sui modelli organizzativi del processo edilizio*, Università IUAV di Venezia, Venezia, Febbraio 2011

Mortenson Company, *University of Colorado-Denver Health Science Center Research Complex II*, 2009, URL: <http://www.mortenson.com/resources/images/11320.pdf>

National Institute of Building Sciences, *National Building Information Model Standard*, Washington, 2007

National Research Council of Canada, *Environmental Scan of BIM Tools and Standards*, Institute for BIM in Canada, Canada, 2011

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

Page, S. *3D Laser Scanning: As-Built Reality Capture for BIM*, AECbytes Viewpoint, 2012, URL: http://www.aecbytes.com/viewpoint/2012/issue_66.html

Paoletti, I. *Costruire le forme complesse. Innovazione, industrializzazione e trasferimento per il progetto di architettura*, Maggioli Editore, Rimini, 2010

Parlamento Europeo, *Risoluzione legislativa del Parlamento europeo del 15 gennaio 2014 sulla proposta di direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio sugli appalti pubblici (COM(2011)0896 – C7-0006/2012 – 2011/0438(COD))*, relatore:

Tarabella M., URL: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONGML+TA+20140115+SIT-02+DOC+PDF+V0//IT&language=IT>

Pozzoli, S.; Villa, W. *Autodesk Revit Architecture 2013. Guida avanzata, tecniche nuove*, Milano, 2012

Randall, T. *Client Guide to 3D Scanning -and- Data Capture*, UK BIM Task Group, Londra, 2013

Suermann, P. *Evaluating the impact of Building Information Modeling (BIM) on construction*, University of Florida, Florida, 2009

Thomson, D. *e-Construction: Don't Get Soaked by the Next Wave*, 2001. URL:http://www.fwhtlaw.com/articles/e-construction_dont_get_soaked.cfm

Torre, A.; Speziani, M. *Strutture. Cinque casi di utilizzo del sistema Building Information Modeling per la progettazione integrata*, Gruppo24Ore, Milano, 2009

Turner, B. *Building a few million points. Leveraging high definition laser scanning for BIM*, in: *Structural Engineering Structural & Design*, zweigwhite, Fayetteville, Arkansas, febbraio 2011

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