



UNIVERSITA' DI PISA

Scuola di Ingegneria – D.E.S.T.e.C.

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile Architettura

TESI DI LAUREA

Ottimizzazione della metodologia HBIM
applicata al progetto di restauro architettonico:
il caso studio di Villa Victorine a Pisa

RELATORI

Prof. Marco Giorgio Bevilacqua

Arch. Massimiliano Martino

Ing. Andrea Piemonte

Ing. Isabel Martinez Espejo Zaragoza

CANDIDATA

Lorenza Ori

ANNO ACCADEMICO 2016-2017

Sommario

INTRODUZIONE	3
---------------------------	----------

CAPITOLO 1 - BUILDING INFORMATION MODELING	5
---	----------

1.1 Breve storia del BIM.....	5
--------------------------------------	----------

1.2 Le definizioni	8
---------------------------------	----------

1.3 Stato dell'arte sulla diffusione del BIM	11
---	-----------

<i>1.3.1 Premessa.....</i>	<i>11</i>
----------------------------	-----------

<i>1.3.2 Norme in Europa</i>	<i>12</i>
------------------------------------	-----------

<i>1.3.4 Quadro normativo in Italia.....</i>	<i>13</i>
--	-----------

<i>1.3.5 Quadro normativo negli altri stati membri della comunità europea</i>	<i>14</i>
---	-----------

<i>1.3.6 Quadro normativo degli stati non membri della comunità europea</i>	<i>20</i>
---	-----------

<i>1.3.7 Quadro normativo oltreoceano</i>	<i>21</i>
---	-----------

<i>1.3.8 Considerazioni sulla differente diffusione del BIM</i>	<i>23</i>
---	-----------

1.4 Il BIM in pratica	23
------------------------------------	-----------

<i>1.4.1 La modellazione: livelli di sviluppo e di dettaglio (LOD).....</i>	<i>24</i>
---	-----------

<i>1.4.2 Interoperabilità.....</i>	<i>31</i>
------------------------------------	-----------

<i>1.4.3 Controllo delle interferenze.....</i>	<i>33</i>
--	-----------

<i>1.4.4 Analisi e simulazioni delle prestazioni energetiche.....</i>	<i>34</i>
---	-----------

<i>1.4.5 Gestione fasi costruttive (4D).....</i>	<i>35</i>
--	-----------

<i>1.4.6 Controllo dei costi (5D).....</i>	<i>35</i>
--	-----------

<i>1.4.7 Gestione e manutenzione (6D)</i>	<i>36</i>
---	-----------

<i>1.4.8 I software BIM per la progettazione.....</i>	<i>37</i>
---	-----------

<i>1.4.9 Benefici e rischi nell'uso del BIM</i>	<i>39</i>
---	-----------

<i>1.4.10 Conclusioni.....</i>	<i>41</i>
--------------------------------	-----------

CAPITOLO 2 – HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELING	44
--	-----------

2.1 Patrimonio storico ed HBIM.....	44
--	-----------

2.2 Creazione del modello e gestione dei dati	47
--	-----------

<i>2.2.1 Dal rilievo tradizionale al laser scanner.....</i>	<i>47</i>
---	-----------

<i>2.2.2 Metodologia di modellazione</i>	<i>52</i>
--	-----------

2.2.3 Utilizzo del modello BIM per il Facility Management	52
2.2.4 Conclusioni.....	57
2.3 Esempi di casi studio.....	58
CAPITOLO 3 – CASO STUDIO VILLA VICTORINE	66
3.1 Introduzione	66
3.2 Brevi cenni storici	67
3.2.1 Caratteri architettonici.....	67
3.3 Acquisizione dati.....	69
3.3.1 Conclusioni.....	74
3.4 Elaborazione dei dati	75
3.4.1 Conclusioni.....	92
3.5 Modello HBIM	93
3.4.1 Conclusioni.....	100
CONCLUSIONI	102
Bibliografia.....	104

INTRODUZIONE

Il *Building Information Modeling* rappresenta una delle più interessanti tecnologie sviluppatesi nel campo della progettazione assistita da computer. Si tratta, infatti, di un sistema basato su una tecnologia di modellazione parametrica dell'edificio che utilizza un database relazionale unito ad un modello comportamentale per elaborare e rappresentare informazioni sull'edificio in modo dinamico. Questa metodologia è già ampiamente utilizzata con successo, in molti Paesi, nell'ambito di interventi di nuova costruzione in quanto si configura come metodo olistico e coordinato per assistere i tecnici progettisti, i committenti, i manutentori e tutti coloro che partecipano al processo edilizio.

Sullo scenario Europeo, ma soprattutto Italiano, però, si può notare come negli ultimi anni si stia facendo sempre più largo il tema del recupero dell'edilizia storica. La riqualificazione energetica, gli interventi di recupero e di restauro degli edifici esistenti aumentano sempre di più con una conseguente diminuzione, anche per carattere economico e sociale, degli interventi di nuova costruzione. La possibilità di applicare l'approccio BIM al patrimonio storico, ovvero HBIM (*Historic Building Information Modeling*), costituisce un'interessante sfida sia nell'ambito della modellazione 3D sia nella gestione/valorizzazione dell'edificio stesso. Un rapportarsi continuamente con le nuove esigenze e da sempre più grandi aspettative nel campo della sostenibilità e risparmio energetico, e opportunità, grazie alle innovazioni tecnologiche.

La principale sfida, tuttavia, è insita nella modellazione in quanto è necessario sviluppare metodi semplici per ottenere modelli BIM per i beni culturali, che garantiscano comunque accuratezza, precisione e qualità di rappresentazione coerenti con i dati acquisiti. Inoltre il modello deve essere arricchito con dati e informazioni non prettamente geometriche, quali notizie storiche, analisi del degrado o delle deformazioni, livelli di dettaglio non concessi dal modello completo.

La realizzazione di modelli HBIM, non solo relativi al patrimonio esistente ma funzionanti come reali contenitori di tutte le informazioni utili, è consentito oggi dalla quasi totalità delle piattaforme BIM *authoring* più diffuse. Esse garantiscono ottima compatibilità

con i formati 3D provenienti dal rilievo, abilitando una fase di rappresentazione e gestione dei componenti e delle geometrie sufficientemente agile e sviluppata. Nuove ricerche e apporti invece sarebbero ancora utili, in ambito di gruppi interdisciplinari, per la creazione e condivisione di ontologie dedicate all'architettura storica nella corretta identificazione e rappresentazione degli oggetti costituenti il modello.

Ulteriore sfida è quella riguardante tutta la filiera di gestione del manufatto architettonico all'interno di un unico ambiente centralizzato e parametrico: dalla fase di rilievo e conoscenza alla fase di cantiere, restauro e/o manutenzione, potendo creare elaborati per la comunicazione e valorizzazione del patrimonio costruito, fino ad arrivare in ambienti di realtà virtuale e/o aumentata.

Il presente lavoro mira a dimostrare la fattibilità di un approccio HBIM globale, ovvero come partendo da una possibile applicazione del *Building Information Modeling Surveying* applicato al costruito storico (ossia la modellazione BIM che utilizza come dato di partenza nuvole di punti provenienti dal rilievo laser-scanner di un manufatto) si può arrivare alla gestione e al controllo del processo edilizio.

Partendo dallo studio dello stato dell'arte verrà descritto un flusso di lavoro completo che passa attraverso l'indagine e la modellazione, consentendo di concentrarsi su questioni critiche e punti chiave per ottenere un modello BIM affidabile di un edificio esistente.

Il caso studio preso in considerazione per l'applicazione di tale metodologia è Villa Victorine, palazzina ottocentesca situata nella zona nord-est di Pisa, attualmente sede del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-Ambientali dell'Università di Pisa. Questo edificio oltre a rispondere all'esigenza di sperimentare una nuova metodologia di lavoro per la digitalizzazione del patrimonio storico, garantisce l'opportunità di un confronto tra l'approccio tradizionale e quello innovativo del BIM, evidenziandone i vantaggi e le problematiche, in quanto su di esso è già in esecuzione il progetto di restauro e rifunzionalizzazione con metodologia di rilievo e restituzione grafica tradizionale.

CAPITOLO 1 - BUILDING INFORMATION MODELING

1.1 Breve storia del BIM

Da sempre, architettura ed edilizia hanno fatto affidamento sul disegno per la rappresentazione del progetto e di ogni sua caratteristica necessaria alla realizzazione. Già nel I secolo a.C. Vitruvio argomentava nel *De Architectura* l'importanza dell'utilizzo di piante, prospetti e sezioni per la comunicazione dell'idea progettuale. Successivamente, nel 1452, l'architetto rinascimentale Leon Battista Alberti all'interno del *De re aedificatoria* scindeva il concetto di "progettazione" da quello di "costruzione", ritenendo che l'essenza della progettazione fosse insita nei processi mentali legati al trasferimento delle idee su carta.¹ Anche oggi disegni e bozzetti sono utilizzati dagli architetti contemporanei per esprimere le proprie idee progettuali. E' il protrarsi di questa tradizione e la necessità di aiutare il progettista che ha fatto sì che fosse il campo dell'architettura il primo in cui sono stati adottati i computer come strumenti informatici CAAD (*Computer aided architectural design*) per l'attività di progettazione e redazione. Tra la fine del 1960 e l'inizio del 1970 vennero implementate le abilità dei sistemi CAD (*Computer aided drafting*) attraverso la creazione di modelli solidi. Il settore delle costruzioni non riconobbe le potenzialità di tale programma, focalizzando l'attenzione progettuale solo sulla rappresentazione dei manufatti, a differenza delle industrie manifatturiere e aerospaziali che sfruttarono le capacità di analisi integrata e riduzione degli errori, sviluppando così collaborazioni con le compagnie di software al fine di implementare questi sistemi.²

Nel 1974 Chuck Eastman ed alcuni collaboratori della Carnegie – Mellon University di Pittsburgh (USA) pubblicarono l'articolo "*An Outline of the Building Description System*" in cui introdussero il BDS (*Building Description System*), un sistema descrittivo per gli edifici, ovvero un software che consentiva la gestione di singoli elementi

¹ Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., *Il BIM - Guida completa al Building Information Modeling*, trad. it. Di Giuda G. M., Villa V., Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2016, p. 206, (ed. orig. *BIM Handbook*, John Wiley & Sons, 2011).

² Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, p.27.

di libreria utilizzabili per la costruzione del modello attraverso un'interfaccia grafica che operava per viste bidimensionali e tridimensionali. A questi oggetti venivano attribuite proprietà descrittive, geometriche e materiche. Il BDS si poneva come obiettivo quello di risolvere problematiche di progetto ancora attuali, quali ridondanza di informazioni nei disegni, interferenze e mancanza di controllo nella definizione globale dell'edificio.

L'anno seguente Chuck Eastman scrisse un altro articolo sulla prestigiosa rivista americana *A.I.A. Journal*, dal titolo "*The use of computer instead of drawings in building design*" (Fig.1) in cui introdusse per la prima volta il concetto di BIM definendolo un'attività di gestione informativa degli edifici (un processo) piuttosto che un oggetto (modello informatico). Pertanto, fin dall'inizio della sua storia, il BIM non è mai stato un programma per computer o un modello 3D, bensì un processo gestionale orientato al coordinamento di attività convergenti nella realizzazione delle costruzioni.³

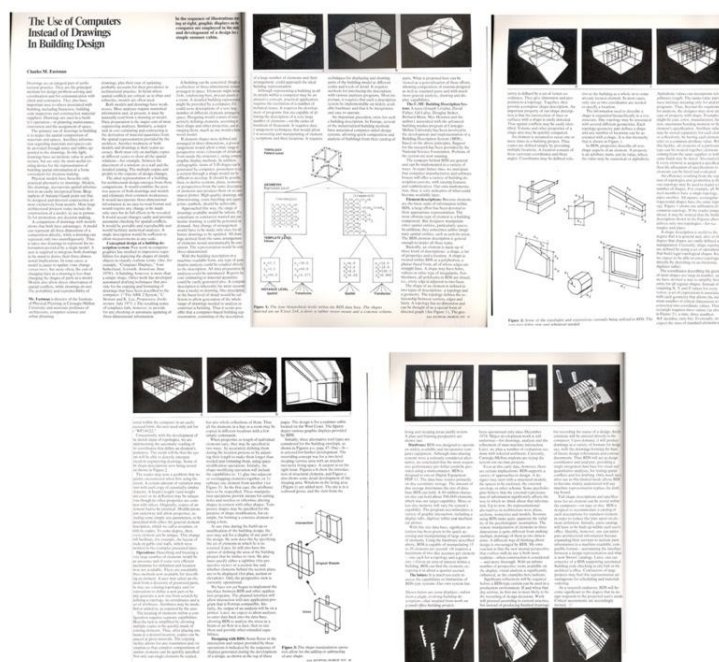


Figura 1 - Articolo di Chuck Eastman dal titolo "*The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design*" pubblicato nel 1975 da *A.I.A. Journal* in cui venne introdotto per la prima volta il concetto di BIM.

³ Garagnani S., *Il processo costruttivo tra rappresentazione e conoscenza: la nascita del Building Information Modeling*, INGENIO n.27, 2014.

Si arrivò così, alla fine del 1970, anche nel settore delle costruzioni, all'utilizzo della modellazione parametrica: mentre nel tradizionale CAD 3D la geometria dell'elemento doveva essere editata manualmente dall'utente, in un modellatore parametrico la forma e l'insieme delle componenti geometriche si modifica automaticamente in base ai cambiamenti del contesto. Il BIM così teorizzato, sviluppato negli anni a seguire grazie agli avanzamenti tecnologici, è dunque un processo che si confonde con quello edilizio, dove numerosi attori collaborano nell'introduzione delle loro competenze e delle loro esperienze professionali, man mano che l'opera si sviluppa.

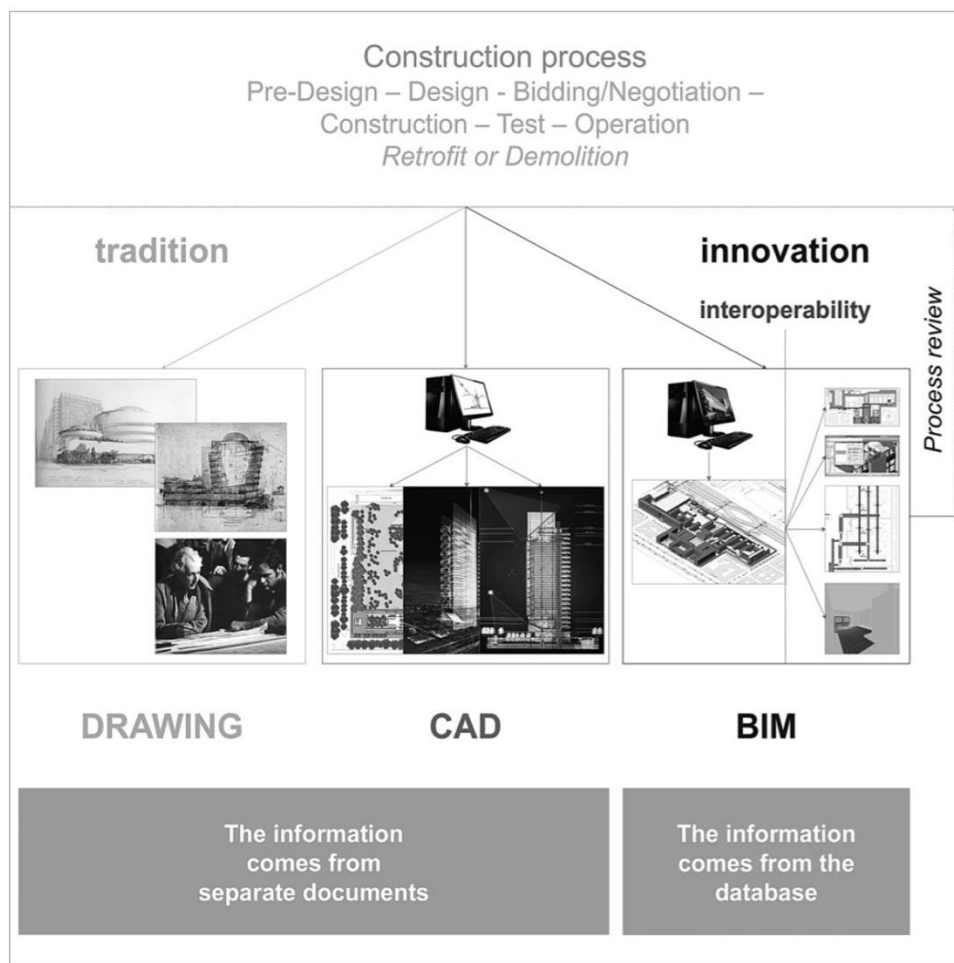


Figura 2- Lo sviluppo del processo di costruzione dalla tradizione all'innovazione

1.2 Le definizioni

Come evidenziato nel paragrafo precedente il BIM è molto più di un passaggio dalla progettazione basata sulla carta a quella digitale, ma per comprendere meglio cosa si cela dietro l'acronimo BIM è necessario citare i pionieri-ricercatori su queste tematiche. La prima definizione di BIM fu quella di Chuck Eastman nel 1975:

*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.*⁴

“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 durante 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.”

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

⁴ Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., *BIM Handbook. A guide to Building Information Modeling*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2008, p.1.

*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.*⁵

“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.”

La *GSA Building Information Modeling Guide* definisce il BIM come:

Building Information Modeling is the development and use of a multi-faceted computer software data model to not only document a building design, but to simulate the construction and operation of a new capital facility or a recapitalized (modernized) facility. The resulting Building Information Model is a data-rich, object-based, intelligent and parametric digital representation of the facility, from which views appropriate to various users’ needs can be extracted and analyzed to generate feedback and improvement of the facility design.⁶

“Lo sviluppo e l’utilizzo di un modello di dati realizzato attraverso un software multi-sfaccettato non solo per documentare la progettazione degli edifici, ma per simulare la costruzione e l’esercizio di una nuova struttura o di una struttura modernizzata. Il modello di informazioni risultante è una rappresentazione digitale, ricca di dati, realizzata con oggetti, intelligente e parametrica della struttura da cui è possibile estrarre e analizzare viste appropriate a seconda della

⁵ National Institute of Building Sciences, *National Building Information Model Standard*, Washington, USA, 2007, p. 21.

⁶ GSA, *Building Information Modeling Guide*, Washington, 2007, p.3.

necessità degli utenti per generare un feedback e il miglioramento della progettazione delle strutture.”

Infine per il WSP Group:

*BIM is an acronym for Building Information Modelling, or Building Information Model. It describes the process of designing a building collaboratively using one coherent system of computer models rather than as separate sets of drawings. Don't be misled by the word 'building' – BIM is just as relevant to the civil engineering sector. It offers enormous gains in saving in cost and time, much greater accuracy in estimation, and the avoidance of error, alterations and rework due to information loss. But adopting BIM involves much more than simply changing the software we use. To achieve all the benefits it offers, everyone in the architecture, engineering and construction industries will have to learn to work in fundamentally new ways. BIM is a whole new paradigm.*⁷

“BIM è l’acronimo di Building Information Modeling o di Building Information Model. Esso descrive il processo di progettazione di un edificio in modo collaborativo utilizzando un sistema coerente di modelli realizzati con il computer piuttosto che come gruppi separati di disegni. Non lasciatevi ingannare dalla parola “costruzione”, BIM è rilevante anche per il settore dell’ingegneria civile. Offre enormi guadagni in risparmio di costi e di tempo, una precisione molto maggiore nella stima, permette di evitare errori, modifiche e rifacimenti a causa della perdita di informazioni. Ma BIM implica molto di più che il semplice cambiamento del software che usiamo. Per ottenere tutti i vantaggi che offre, tutti nei settori dell’architettura, ingegneria e costruzioni, dovranno imparare a lavorare in modi fondamentalmente nuovi. BIM è un paradigma completamente nuovo.”

Da queste definizioni si può evincere che operare in ambiente BIM consente

⁷ WSP Group, *What is BIM*, 2017, <http://www.wsp-pb.com/en/Who-we-are/In-the-media/News/2013/What-is-BIM/>

di creare un database di informazioni aggregate in un unico modello, a differenza delle precedenti metodologie di lavoro in cui i dati erano creati e gestiti separatamente. Inoltre è un processo che permette la collaborazione tra le diverse figure partecipanti al processo edilizio garantendo lo scambio standardizzato di informazioni tra queste. Le informazioni sono sempre reperibili, verificabili ed estraibili al fine di gestire l'intero ciclo di vita di un'opera. Queste caratteristiche testimoniano la varietà dell'uso che può essere fatto della metodologia BIM da qualsiasi operatore coinvolto.

Infine la lettera chiave dell'acronimo BIM è la "I" che assume sempre più importanza man mano che viene completata ciascuna fase di sviluppo. Mentre la geometria definisce gli attributi fisici e guida il disegno, la "I" stabilisce la ricetta per il chi, il perché, il cosa e il dove di un'opera.⁸

1.3 Stato dell'arte sulla diffusione del BIM

1.3.1 Premessa

Il *Building Information Modeling* sta diventando 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 seppur visto in molte nazioni ancora con diffidenza. Da ormai più di dieci anni enti pubblici e privati, Università, associazioni di professionisti e di imprese investono risorse nella divulgazione, nella sensibilizzazione e nella formazione sul tema dei progettisti, delle pubbliche amministrazioni, dei produttori, dei costruttori. In alcune realtà particolarmente dinamiche 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 di metodo procedurale. Le eccellenze europee in materia di BIM sono rappresentate però dai Paesi Scandinavi e dal Regno Unito.

⁸ Ciribini A., *L'Information Modeling e il settore delle costruzioni: IIM e BIM*, Maggioli Editore, Milano, 2013, p.19.

1.3.2 Norme in Europa

Il 15 gennaio 2014 con la direttiva EUPPD (*European Union Public Procurement Directive*) l'Unione Europea incoraggia l'utilizzo del BIM negli appalti pubblici al di sopra di una certa soglia. Ciò ha scaturito l'inizio di un cambiamento dello scenario normativo degli Stati Membri. Tra il 2007 e il 2009, Finlandia e Danimarca sono stati i primi paesi a sviluppare un testo di matrice statale che consigliasse l'utilizzo del BIM per la progettazione, sono poi seguiti Svezia, Paesi Bassi e Norvegia. La maggior parte dei paesi che aveva normativa e standard in materia BIM, li ha comunque riveduti tra il 2012 e il 2014, o li sta rivedendo oggi spostando il focus verso lo scambio di dati e i processi collaborativi.⁹

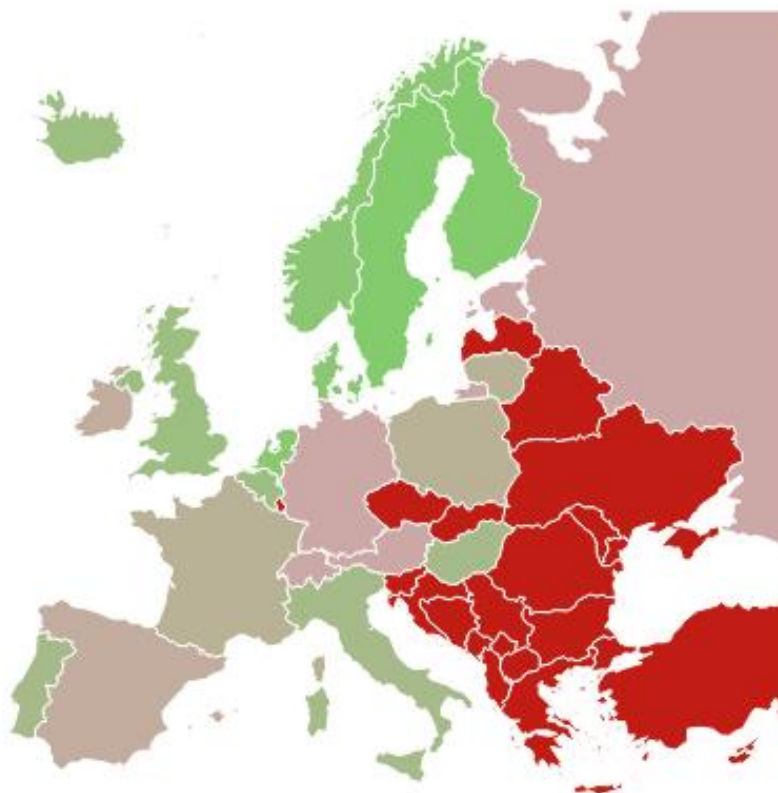


Figura 3- Mappa rappresentativa della situazione normativa degli Stati Europei rispetto all'introduzione del BIM

⁹ Rizzarda C.C., Gallo G., *La sfida del BIM – Un percorso di adozione per progettisti e imprese*, p.34, AM4 Educational, Lecco, 2017.

La mappa riportata in Fig.3, aggiornata al 13 febbraio 2016, mostra dal verde fino al rosso, la situazione normativa degli stati europei rispetto all'introduzione del BIM: in verde i primi stati a stilare un sistema legislativo che lo preveda; in rosso gli stati in cui l'introduzione del metodo non è ancora all'orizzonte.

1.3.4 Quadro normativo in Italia

Il 18 aprile 2016 è stato approvato il *decreto legislativo n.50*, comunemente noto come “Codice Appalti”. Scopo del decreto è il recepimento di svariate direttive europee tra cui la 214/24/EU sugli appalti pubblici, che invita le pubbliche amministrazioni a richiedere l'utilizzo del *Building Information Modeling* nei loro appalti. In particolare l'articolo 23, comma 1, lettera h, del nuovo codice indica che la progettazione in materia di lavori pubblici è intesa ad assicurare tra gli altri obbiettivi “*la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture*”. Le modalità per l'adozione di questi metodi e strumenti dovranno essere individuati da una commissione ministeriale, al momento ancora al lavoro. A livello normativo è in fase di redazione la normativa UNI 11337: le parti 1,4,5 sono già approvate e introducono processi collaborativi, l'utilizzo di un ambiente condiviso per lo scambio dei dati, e il concetto di LOD (*Level of Development*) sulla base del quale il tavolo del “Comitato Europeo di Normazione” sta sviluppando la norma comunitaria.

Le norme saranno suddivise in otto parti, di cui alcune già pubblicate:

1. Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi;
2. Criteri di denominazione e classificazione di modelli, prodotti e processi;
3. Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione di informazione tecnica per i prodotti da costruzione;
4. Evoluzione e sviluppo informativo di modelli elaborati ed oggetti;
5. Flussi informativi nei processi digitalizzati;
6. Esempificazione di capitolato informativo;
7. Requisiti di conoscenza, abilità e competenza per le figure coinvolte nella gestione digitale dei processi informativi;

8. Organizzazione delle figure coinvolte nella gestione digitale dei processi informativi.

1.3.5 Quadro normativo negli altri stati membri della comunità europea

Belgio

Il Belgio non dispone di una normativa in fatto di BIM. Nell'ottobre 2015 è stato però pubblicato un “*Generic protocol*” dalla Vrije Universiteit di Bruxelles in cui sono state proposte strategie a livello metodologico e organizzativo: ad ogni ruolo, per ogni disciplina, si è proposto l'affiancamento della propria controparte BIM, e una collaborazione attraverso l'uso di vari modelli, coordinati durante il processo.

Francia

Attualmente la Francia non dispone di una normativa in fatto di BIM, prevista però per la fine del 2017. Nel gennaio 2015 la Francia ha approvato il finanziamento di 20 milioni di euro per un piano di transizione digitale. L'obiettivo francese è di costruire in BIM circa 5000 abitazioni entro fine 2017 e da quel punto, forte di questo precedente, il metodo dovrà diventare obbligatorio per tutte le opere pubbliche.

Germania

La Germania non dispone di una normativa in fatto di BIM, prevista però per la fine del 2020. Nel 2012 il Ministero Federale per i Trasporti, le Costruzioni e l'Urbanismo (BMVBS) ha commissionato un progetto di ricerca durato un anno intitolato “*ZukunftBAU*”, costruire il futuro. Si tratta di un documento che fotografa la situazione attuale rispetto a quella degli altri paesi e fornisce alcuni input circa i principi generali e gli obiettivi del metodo. Nel gennaio 2015 il governo lancia “*Plattform Digitales Bauen*”, una piattaforma digitale per le costruzioni con obiettivo quello di raccogliere esperienze e contributi in modo da delineare una strategia nazionale per l'adozione del BIM a partire dai casi studio. Nel dicembre 2015 viene pubblicato un documento “*Planen Bauen 4.0*”, linea guida senza valore normativo che riconosce l'IFC come formato comune.

Paesi Bassi

I Paesi Bassi hanno una normativa in fatto di BIM dal 2013 orientata al Facility Management. Risale al 1 febbraio 2013 la cosiddetta “*RGB BIM Norm*”, documento in cui si parla di BIM soprattutto in relazione al Facility Management: il BIM è considerato obbligatorio nei contratti di tipo DBFMO (*Design – Build – Finance – Mantain – Operate*) ma un piano per la sua obbligatorietà negli appalti pubblici è ancora in lavorazione.

Danimarca

La Danimarca ha una norma sul BIM dal 2013, anche se i primi testi risalgono 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.

La Danimarca è tra i paesi in cui il ragionamento sul BIM è maggiormente sviluppato.

Nel 2016 è stata al centro *NBS International BIM report*¹⁰ insieme a Regno Unito, Giappone, Canada, Repubblica Ceca, Finlandia e Nuova Zelanda. Il risultato dell’indagine (Fig.4) ha rilevato che una percentuale molto alta di professionisti si dichiara consapevole di cosa sia il BIM e lo utilizza attivamente nella propria professione, ma che una percentuale altrettanto alta ritiene sarebbe necessario fare maggiore chiarezza.

¹⁰ Il National Building Specification (NBS) è tra i vari enti sorti per sensibilizzare la filiera delle costruzioni sul tema del BIM. 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 una banca dati di oggetti BIM open source (la National BIM Library) per l’AEC, accessibile gratuitamente da tutti i professionisti del settore edile.

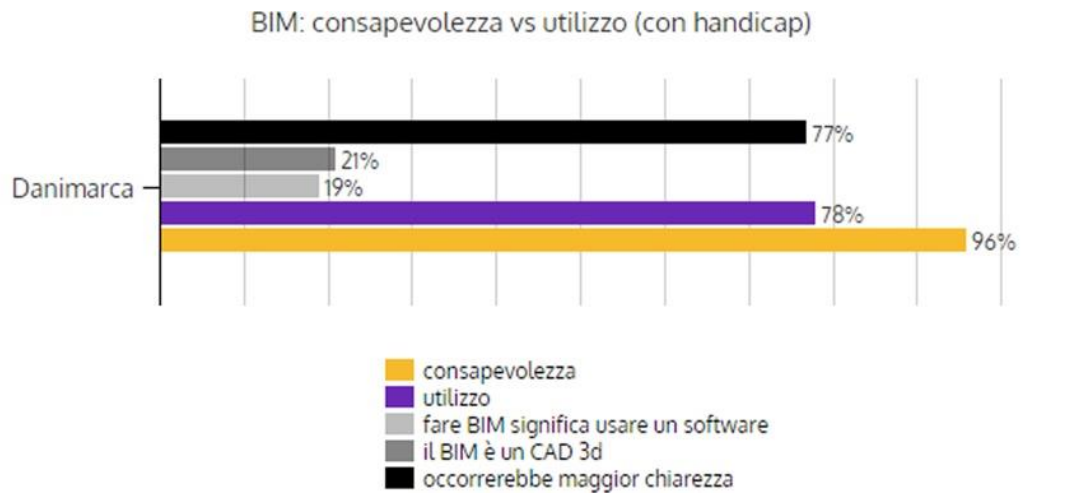


Figura 4- NBS International BIM report: dati sull'adozione del BIM in Danimarca

Irlanda

L'Irlanda non dispone di una normativa in fatto di BIM, ma ha varato un piano di implementazione che dovrebbe portare all'introduzione del BIM entro un paio di anni.

Regno Unito

Il Regno Unito è considerabile la forza trainante per l'adozione del BIM (Fig.5). Risale al 2015 il *BIM Protocol V2.1* e il documento viene costantemente aggiornato. Anche nel Regno Unito, il processo è iniziato con una ricerca, un progetto pilota costituito dall'edilizia scolastica, e un piano d'implementazione cui ha fatto seguito l'introduzione in normativa. Esistono *BIM Protocol* specifici per Bentley, Autodesk Revit, Archicad e Vectorworks, un template di BIM Execution Plan. Le *Public Available Specifications* relative al BIM sono quelle della serie 1192 in fase di revisione pubblica per quanto riguarda una revisione completa del secondo e terzo capitolo, relativi alla fase di specifica / progettazione / costruzione e alla fase di gestione / manutenzione.

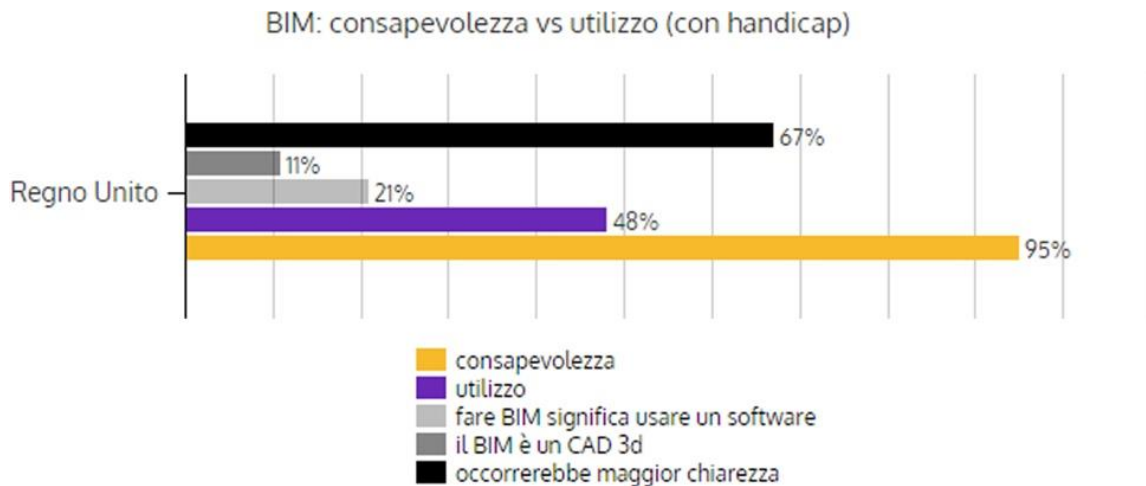


Figura 5 - NBS International BIM report: dati sull'adozione del BIM nel Regno Unito

Spagna

La Spagna non ha una normativa in fatto di BIM ma è prevista per il 2018. Questo Paese ha espresso il volere programmatico di intraprendere un'implementazione parziale per il 2018, iniziando ad utilizzare il BIM per strutture e infrastrutture pubbliche di nuove costruzioni con budget superiore ai 2 milioni di euro.

In Spagna è presente la “*BuildingSMART Spanish*”, un'associazione senza scopo di lucro formata da soggetti coinvolti nel settore delle costruzioni, che ha lo scopo di promuovere l'uso di standard aperti per l'interoperabilità BIM e di modelli commerciali atti a raggiungere ulteriori livelli di riduzione di costi e tempi di esecuzione.

Nell'ottobre 2014, attraverso la collaborazione di circa 80 liberi professionisti che hanno dato via all'iniziativa “uBIM”, è nata una guida con l'intento di sviluppare un manuale d'uso in lingua spagnola per il BIM. La guida è composta da 13 parti basate sulla documentazione finlandese:

- Documento 1 – Parte General
- Documento 2 – Modelado del Estado Actual
- Documento 3 – Diseño Arquitectónico
- Documento 3 – Diseño Arquitectónico
- Documento 4 – Diseño de Instalaciones MEP
- Documento 5 – Diseño Estructural

- Documento 6 – Aseguramiento de la Calidad
- Documento 7 – Mediciones en BIM
- Documento 8 – Uso de modelos para la visualización
- Documento 9 – Uso de modelos para análisis de Instalaciones
- Documento 10 – Análisis energético
- Documento 11 – Gestión de un proyecto BIM
- Documento 12 – BIM para Mantenimiento y Operaciones
- Documento 13 – Uso de modelos en la fase de construcción

Austria

L'Austria dispone di un set di standard dal 2013. Non vige alcun obbligo BIM per gli appalti pubblici nonostante il metodo sembri relativamente affermato.

Finlandia

La Finlandia dispone di un set di standard revisionati nel 2012. Il BIM per i progetti pubblici è obbligatorio dal 2008. I *New Common BIM Requirements* (COBIM) sono stati rivisti durante questo primo periodo di test e successivamente rilasciati nel 2012. Il loro obiettivo è estendere l'utilizzo del BIM all'intero ciclo di vita dell'edificio. Il COBIM si compone di 13 parti:

1. Principi generali;
2. Modellazione delle condizioni di partenza;
3. Progettazione architettonica;
4. MEP;
5. Progettazione strutturale;
6. Garanzia di qualità;
7. Quantity take-off;
8. Utilizzo dei modelli per la visualizzazione;
9. Utilizzo dei modelli per i calcoli MEP;
10. Utilizzo dei modelli per le analisi energetiche;

11. Gestione di un progetto BIM;
12. Utilizzo dei modelli nel Facility Management;
13. Utilizzo dei modelli nelle fasi di costruzione.

Svezia

La Svezia dispone di un obbligo normativo in fatto di BIM dal 2012. Tra il 1991 e il 2013 lo Swedish Standards Institute (SIS) ha pubblicato una serie di *best practice* denominate “*Bygghandlingar 90*”. Si tratta di otto documenti che hanno lo scopo di definire le specifiche per la produzione di elaborati di progetti.

- Parte 1: processo di costruzione e raccomandazioni generali sull’approccio sistematico ai documenti di costruzione;
- Parte 2: come interpretare dettagli e simboli dei disegni;
- Parte 3: requisiti fondamentali di misurazione e tolleranza;
- Parte 4: come realizzare disegni CAD in conformità agli standard del settore edile;
- Parte 5: come computare impianti idraulici ed elettrici;
- Parte 6: raccomandazioni per redazione documenti necessari per i progetti di nuova costruzione e ristrutturazione;
- Parte 7: gestione informazioni digitali;
- Parte 8: descrive lo scambio di informazioni tra le persone coinvolte nel processo edilizio e in tutte le sue fasi.

Nel 2010, sempre la medesima organizzazione, ha sviluppato una guida pratica, intitolata “*BIM för Byggmästare*”, che aiuta piccole e medie imprese ad approcciarsi al BIM per utilizzarlo nei loro progetti e nel giugno 2013 la “OpenBIM”, organizzazione no-profit costituita da più di 100 membri, ha emanato il “*BIM – Standardiseringsbehov*”, con l’obiettivo di realizzare una linea guida per i nuovi utenti BIM e promuovere la sua adozione.

1.3.6 Quadro normativo degli stati non membri della comunità europea

Norvegia

La Norvegia è considerata tra i primi paesi ad aver adottato il BIM a livello nazionale. Il governo di Oslo ha varato un primo contratto nel 2005 e l'ha poi riveduto nel 2013 traducendolo in quello che è attualmente noto come lo “*Statsbygg BIM Manual 1.2.1*”. 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.

Islanda

L'Islanda è citata spesso tra i primi paesi ad adottare il BIM. Ha iniziato il suo processo d'implementazione nel 2007 quando la Iceland Construction Technology Platform ha istituito il progetto “*BIM – Iceland*” con lo scopo di rafforzare il consenso tra committenti pubblici, migliorare la qualità nella progettazione e costruzione di progetti di edilizia pubblica e ridurre i costi, a partire dalla costruzione, per l'intero ciclo di vita. L'introduzione del metodo è stata però decisamente lenta a causa sia della crisi del settore sia della mancanza di progetti pilota che abbiano davvero sfruttato la potenzialità del metodo.

Russia

Nel marzo 2014 si è resa pubblica la decisione di imbarcarsi in un'introduzione normativa del BIM per gli appalti pubblici. Da allora sono stati realizzati venticinque progetti pilota di cui si attendono sviluppi entro i prossimi due anni. Nel frattempo continua l'implementazione a livello universitario per creare percorsi di studi che formino i nuovi professionisti e il governo si è imbarcato nella realizzazione di un sistema di classificazione unificato a livello nazionale che codifichi oltre 70.000 prodotti e materiali da costruzione.

1.3.7 Quadro normativo oltreoceano

Stati Uniti

Con la pubblicazione di un programma nazionale nel 2003, a seguito delle prime sperimentazioni in campo militare, si potrebbe in qualche modo affermare che il BIM sia nato negli Stati Uniti. Dal 2007 si richiede l'utilizzo del BIM nelle fasi di programmazione in fase di appalto. Le differenze dello sviluppo del BIM (Fig.8), riscontrate in una ricerca durata dal 2009 al 2012, tra le principali regioni americane sono le seguenti:

- L'Occidente resta la zona più all'avanguardia con un tasso d'adozione globale del 77%;
- L'adozione nelle regioni del midwest si posizionano anch'esse al disopra della media nazionale con un tasso di adozione del 73%;
- Le regioni del sud e nord-est sono al di sotto della media con un tasso che va da 66% al 68%;
- La media nazionale risulta del 71%.

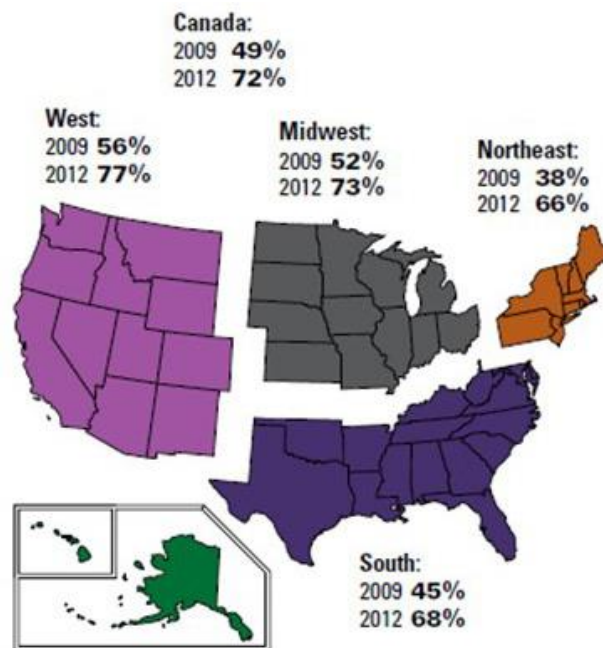


Figura 6- Le differenze tra le percentuali di sviluppo del BIM negli Stati Uniti tra il 2009 e il 2012

Canada

Il Canada non dispone ancora di una normativa nazionale in termini di BIM. Per la coordinazione del BIM per la progettazione, costruzione, gestione dell'ambiente il Canada ha istituito l' *"Institute for BIM in Canada"* (IBC). Questo ente ha pubblicato nel 2011 l'*Environmental Scan of BIM Tools and Standards* che evidenzia l'utilità e la capacità di gestione dei software BIM. Il Canada Bim Council (CanBIM) nel 2011 ha avviato un dialogo con il comitato AEC (UK) per sviluppare un protocollo parallelo basato su quello inglese.

Giappone

La strada del Giappone verso l'adozione del BIM è iniziata nel marzo 2010, quando il ministero per il Territorio, le Infrastrutture e i Trasporti ha annunciato che avrebbe avviato un progetto pilota per nuove costruzioni e manutenzioni di strutture governative. Il *Japan Institute of Architects* nel luglio 2012 ha rilasciato delle *"BIM Guidelines"* e nel settembre dello stesso anno il ministero ha iniziato gli studi per lo sviluppo di standard di modellazione nazionali.

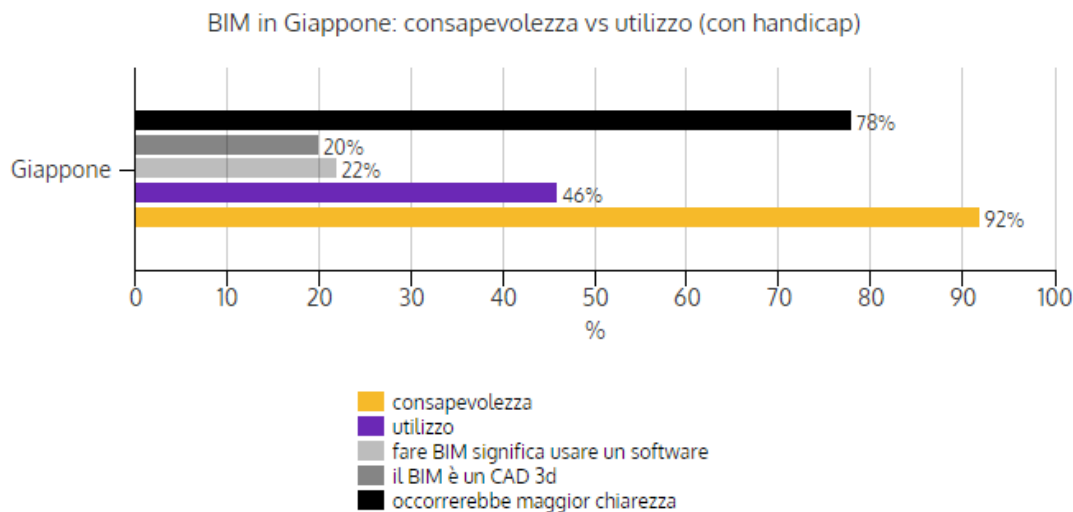


Figura 7- NBS International BIM report: dati sull'adozione del BIM in Giappone

1.3.8 Considerazioni sulla differente diffusione del BIM

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, 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.

1.4 Il BIM in pratica

Gli strumenti BIM, dalla creazione del modello dello stato di fatto, passando per la scelta tra molteplici scelte migliorative, fino alla programmazione delle fasi di costruzione, gestione e manutenzione, riescono a garantire importanti opportunità di controllo tecnico-prestazionale.

Dallo studio della letteratura tecnica di riferimento, come pure dall'analisi di casi studio, le azioni strategiche per il controllo tecnico-prestazionale degli interventi sono:

- progettazione e modellazione;
- controllo delle interferenze;
- analisi e simulazioni delle prestazioni energetiche;
- gestione fasi costruttive (4D);

- controllo dei costi (5D);
- gestione e manutenzione (6D).

Un modello BIM realizzato come un prototipo virtuale dell'edificio permetterà di utilizzare il database delle informazioni collegate come strumento operativo modificabile e implementabile nel tempo. In quest'ottica la modellazione non segue esclusivamente una logica appartenente a criteri geometrici, ma piuttosto una metodologia basata su elementi tecnici e modalità costruttive che ne organizzano gli elementi base e le loro aggregazioni.

Nei paragrafi seguenti verranno approfondite le potenzialità del BIM nelle azioni individuate per il controllo delle scelte e le rispettive ricadute all'interno del processo progettuale.

1.4.1 La modellazione: livelli di sviluppo e di dettaglio (LOD)

La quantità di informazioni che si possono inserire all'interno di un modello BIM è estremamente vasta. Al fine di aiutare gli attori del processo, inclusi i committenti, a precisare i risultati attesi e ad avere un quadro chiaro di cosa richiedere, deve essere ben definito in partenza l'uso che si intende fare del modello e i livelli di approfondimento per geometrie e informazioni. Per ovviare a questa esigenza nel 2011 l'organizzazione BIM Forum ha iniziato la stesura del documento *Level of Development Specifications* che permette di definire per ogni progetto il livello di sviluppo, ovvero la quantità e il grado di approfondimento e di accuratezza delle informazioni fornite dal modello.

L'acronimo LOD talvolta viene interpretato come Level of Detail (Livello di Dettaglio) piuttosto che come Level of Development (Livello di Sviluppo). La differenza è sostanziale: il Livello di Dettaglio (Fig.10) è essenzialmente la definizione di quanto è dettagliato geometricamente, graficamente, un elemento del modello, mentre il Livello di Sviluppo (Fig.11) definisce qual è il livello informativo ad esso associato.¹¹

¹¹ Ciribini A., *BIM e digitalizzazione dell'ambiente costruito*, Grafill, Palermo, 2016, p.227.

LEVEL of DETAIL

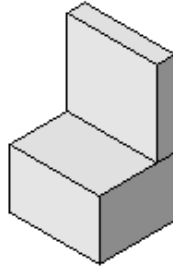
G0



Schematic

<u>DESCRIPTION:</u>
Office Chair
<u>WIDTH:</u>
<u>DEPTH:</u>
<u>HEIGHT:</u>
<u>MANUFACTURER:</u>
<u>MODEL:</u>

G1



Concept

<u>DESCRIPTION:</u>
Office Chair
<u>WIDTH:</u>
700
<u>DEPTH:</u>
450
<u>HEIGHT:</u>
1100
<u>MANUFACTURER:</u>
<u>MODEL:</u>

G2



Defined

<u>DESCRIPTION:</u>
Office Chair
Arms, Wheels
<u>WIDTH:</u>
700
<u>DEPTH:</u>
450
<u>HEIGHT:</u>
1100
<u>MANUFACTURER:</u>
Herman Miller, Inc
<u>MODEL:</u>
Mirra

G3



Rendered

<u>DESCRIPTION:</u>
Office Chair
Arms, Wheels
<u>WIDTH:</u>
700
<u>DEPTH:</u>
450
<u>HEIGHT:</u>
1100
<u>MANUFACTURER:</u>
Herman Miller, Inc
<u>MODEL:</u>
Mirra

(based on AEC [UK] BIMprotocol v2.0 - Component Grade)

practicalBIM.net © 2013

Figura 8- Tabella riepilogativa dei diversi livelli di dettaglio

LEVEL of DEVELOPMENT






LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: DEPTH: HEIGHT: MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 100	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 200	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 700 DEPTH: 450 HEIGHT: 1100 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 300	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra LOD: 400	DESCRIPTION: Office Chair Arms, Wheels WIDTH: 685 DEPTH: 430 HEIGHT: 1085 MANUFACTURER: Herman Miller, Inc. MODEL: Mirra PURCHASE DATE: 01/02/2013
(Only data in red is useable)			practicalBIM.net © 2013	

Figura 9- Tabella riepilogativa dei diversi livelli di sviluppo

Definizioni dei Livelli di Sviluppo

Di seguito vengono riportate le definizioni fornite dall'AIA nel Digital Practice Documents.

LOD 100

Gli elementi del modello possono essere rappresentati graficamente con simboli o altre rappresentazioni generiche, non raggiungendo però il dettaglio del LOD200. Le informazioni legate agli elementi possono essere ricavate da modelli simili.

Il livello di sviluppo 100 risulta fondamentale durante le fasi preliminari del progetto. Infatti l'utilizzo di elementi a questo livello di sviluppo permettono ai progettisti di effettuare delle analisi su modelli allo stato embrionale. L'utilizzo del LOD100 però non si ferma solo al livello preliminare, infatti alcuni elementi possono rimanere a tale livello di sviluppo per l'intera durata del progetto.

LOD 200

Gli elementi del modello sono rappresentati graficamente come sistemi, oggetti o componenti generici, arricchiti da quantità, dimensione, geometria, posizione e orientamento approssimativi. Informazioni non grafiche possono essere allegate agli elementi costituenti il modello, che può essere utilizzato per effettuare analisi preliminari sulle prestazioni date da diversi sistemi semplificati.

Questo livello di sviluppo viene utilizzato in fase preliminare, quando le specifiche degli elementi non sono state ancora individuate per segnalare agli utilizzatori che potrebbero ancora esserci delle variazioni.

LOD 300

Il modello presenta elementi che sono rappresentati graficamente come sistemi, oggetti o componenti specifici in termini di quantità, dimensione, geometria, posizione e orientamento. Questi possono essere dotati di informazioni non grafiche. Con il termine specifico si intende che le informazioni in questione possono essere misurate direttamente dal modello senza dover far riferimenti ad altri modelli o a note esterne. L'utilizzo di questo LOD permette di eseguire simulazioni prestazionali di specifici sistemi modellati appositamente per il progetto.

Gli elementi a questo livello di sviluppo sono definiti in termini di componenti, dimensione, forma, localizzazione e orientamento, in alcuni casi potrebbe essere necessario applicare delle modifiche per garantire la costruibilità dell'opera e del coordinamento con altre discipline. Ad esempio a questo LOD elementi come pilastri e travi sono rappresentati con le corrette dimensioni, forma e posizione. A livello di sviluppo 300 solitamente non si modellano elementi di dettaglio.

LOD 350

Questo livello di dettaglio intermedio aggiunge agli elementi con un LOD 300 la complessità di interfacciarsi con altri sistemi all'interno del modello.

Questo LOD è stato inserito dall'organizzazione BIMForum nel documento *Level of Development Specifications* in quanto non inserito nel documento stilato dall'AIA. Viene utilizzato per tutti gli elementi sufficientemente sviluppati da permettere il coordinamento tra le discipline ma che non raggiungono il LOD 400.

LOD 400

Come per il LOD 300, gli elementi sono rappresentati graficamente all'interno del modello come sistemi, oggetti o componenti specifici in termini di dimensione, geometria, posizione, quantità e orientamento. Vi è inoltre l'aggiunta delle informazioni riguardanti i particolari costruttivi, il processo di produzione, l'assemblaggio e l'installazione. Possono essere allegati dati non grafici quali le schede tecniche dei singoli prodotti e codici di pratica.

Un elemento si considera sviluppato a LOD 400 quando tutte le informazioni necessarie alla costruzione e all'installazione sono state definite.

LOD 500

Gli elementi del modello sono verificati e controllati in loco e rappresentano correttamente ciò che è stato costruito in termini di dimensioni, geometria, posizione, quantità e orientamento. Anche in questo caso possono essere allegate informazioni non grafiche. Il modello è utilizzato nella fase di gestione dell'opera in quanto è una copia virtuale dell'opera arricchita di tutte le informazioni necessarie per la manutenzione.

La rappresentazione del LOD 500 può essere vista come un modello *as built*. Gli elementi a LOD 500 sono quegli elementi che andranno verificati in campo. Non tutti gli elementi necessitano di questa verifica e quindi andranno portati a questo livello di sviluppo per avere un modello *as built* esaustivo.¹²

¹² Ciribini A., *BIM e digitalizzazione dell'ambiente costruito*, Grafill, Palermo, 2016, pp.227-232..

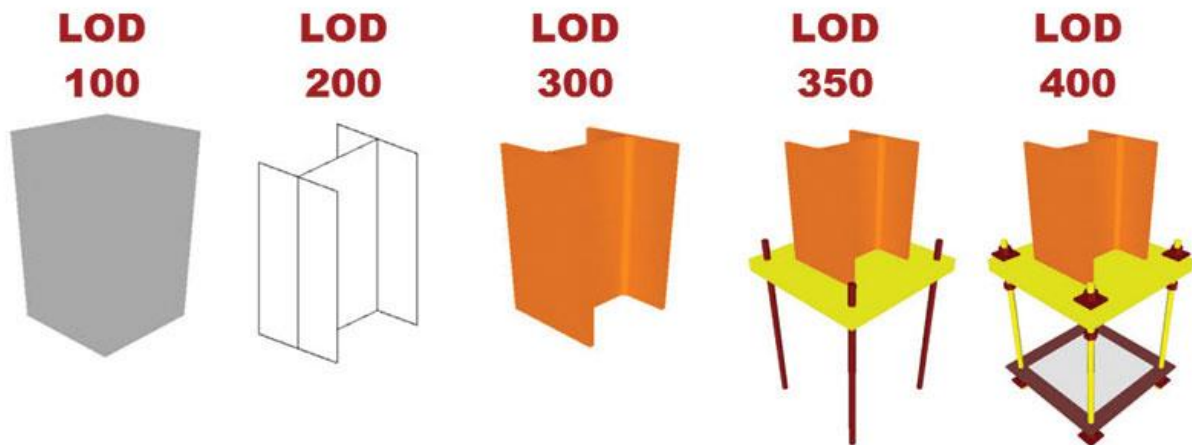


Figura 10- Esempio di modellazione secondo i diversi LOD

La normativa italiana

Anche la norma UNI 11337 fa riferimento al concetto di LOD, che ne prevede sette identificati tramite lettere:

LOD A

Rappresentazione simbolica in 2D o anche 3D se necessario. Non esprime vincoli di geometria. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono puramente indicative.

LOD B

Rappresentazione geometrica generica o la geometria di ingombro. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono approssimate.

LOD C

Rappresentazione geometrica definita. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono definite in via generica. Sono applicabili a tutte le entità similari.

LOD D

Rappresentazione geometrica dettagliata. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono specifiche di una pluralità di prodotti simili. Vengono inserite informazioni utili al montaggio ed alla manutenzione.

LOD E

Rappresentazione geometrica specifica. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono specifiche di un singolo sistema. Sono presenti informazioni relative a fabbricazione, assemblaggio e installazione (oltre a quanto utile per la manutenzione).

LOD F

Rappresentazione geometrica specifica di quanto eseguito (verificata sul luogo). Le caratteristiche qualitative e quantitative sono quelle specifiche del prodotto posato. Sono presenti informazioni relative a fabbricazione, assemblaggio e installazione (oltre a quanto utile per la manutenzione) valide per tutto il ciclo vitale dell'opera.

LOD G

Rappresentazione storicizzata specifica dello specifico oggetto (verificata sul luogo). Le caratteristiche qualitative e quantitative sono quelle specifiche del prodotto posato ed aggiornate rispetto ad un precedente stato di fatto. Sono presenti informazioni relative a gestione, manutenzione e/o riparazione/sostituzione valide per tutto il ciclo vitale dell'opera. Viene inoltre registrato il livello di degrado dell'oggetto.

Una delle novità dei LOD normati dalla UNI 11337 recentemente pubblicata ed entrata in vigore, sono proprio i LOD F e G dedicati al restauro, che non trovano altrettanta attenzione in altre norme BIM. Il LOD F esprime l'*as built* rilevato con tutte le caratteristiche presenti nel reale (è frutto in sostanza da quanto definito a livello di LOD E). Il LOD G esprime la virtualizzazione aggiornata dell'elemento e tiene traccia dello storico degli interventi eseguiti sul manufatto: data di manutenzione/sostituzione, il "Soggetto manutentore" e la tipologia di intervento effettuato. L'importanza di questi LOD è stata

riconosciuta anche a livello europeo e se ne sta valutando il riconoscimento e l'introduzione a livello europeo.

1.4.2 Interoperabilità

L'interoperabilità è la possibilità di scambiare i dati contenuti nel modello progettuale di partenza tra diverse piattaforme software e applicativi destinati alle diverse funzionalità coinvolte nelle attività, questo non solo durante la fase di realizzazione dell'opera ma anche nell'intero suo ciclo di vita, dalla manutenzione alla dismissione. Se tradizionalmente, infatti, i software specializzati sviluppati per la gestione ed elaborazione dei dati all'interno di specifici settori mancavano della capacità di integrarsi reciprocamente, la trasversalità dell'approccio BIM richiede la massima accessibilità di tali informazioni di progetto e di processo a tutti i soggetti coinvolti (Fig.13). La modellazione BIM è possibile se basata su di uno standard informatico unico, che permette a diverse applicazioni di condividere l'archivio di progetto. In altri termini, è necessario un formato condiviso dalle applicazioni BIM, che ne garantisca l'interoperabilità.

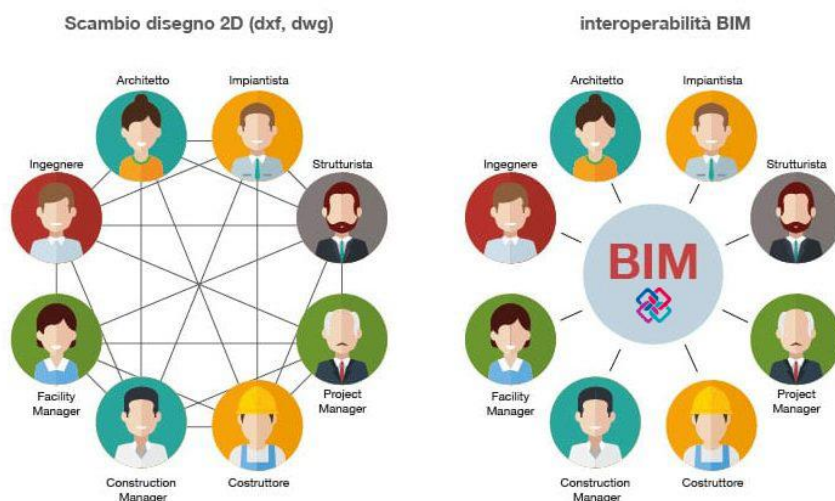


Figura 11- Evoluzione dell'interoperabilità con l'adozione della metodologia BIM e degli standard IFC

Le soluzioni tradizionali, come i formati .dxf, .dwf, .pdf, attraverso la quale è possibile garantire a tutti gli operatori l'accessibilità ai dati, non trasferiscono adeguati

livelli di intelligenza degli oggetti da un modello all'altro. Al momento attuale, lo scambio dei dati tra due applicazioni avviene in quattro modi principali: direttamente attraverso dei link presenti all'interno del software BIM, con l'utilizzo di formati nativi della casa madre del software BIM principalmente per la geometria, con dei formati di scambio XML, con dei formati standard pubblici denominati IFC acronimo di "*Industry Foundation Classes*".¹³

IFC è lo standard internazionale aperto utilizzato dai più diffusi software di progettazione BIM. Il formato IFC consente al progettista, da un lato, di continuare a lavorare con gli strumenti che gli sono familiari, dall'altro, permette la fruizione e l'utilizzo di tutti i dati contenuti nel progetto relazionandoli alle altre piattaforme software utilizzate dall'utente e dedicate ad altri aspetti, strutturali, gestionali, realizzativi ecc., dell'opera.

In un modello IFC, le informazioni di progetto, sono rappresentate da un insieme di Entità IFC (come gli elementi, le superfici e le loro interrelazioni). Ogni entità IFC, per esempio un IFC Wall, include un numero di attributi fisso, più un numero qualsiasi di proprietà aggiuntive IFC. Esistono inoltre i contenitori IFC, ovvero entità IFC che non hanno una propria geometria dei corpi, ma i cui componenti contengono tutti i dati relativi alla geometria e alla struttura. Per esempio un elemento *curtain wall* (Fig.14) è un'entità contenitore IFC IfcCurtainWall IFC con i suoi componenti Profilo (IfcMember) e Pannello (IfcPlate).¹⁴

¹³ Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, pp.107-109.

¹⁴ Graphisoft, *Guida all'installazione di Archicad 20*, Graphisoft, 2016, p. 2551.

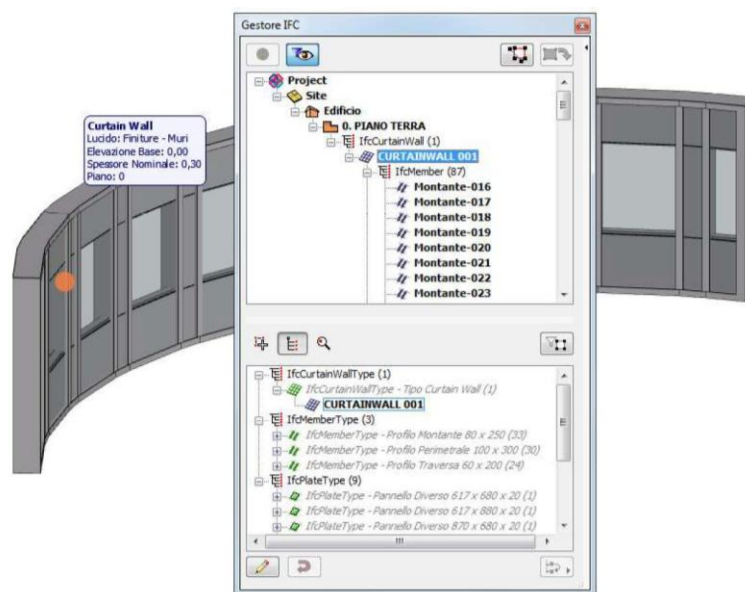


Figura 12- Finestra di gestione contenitore IFC di una curtain wall in Archicad 20

La comunicabilità tra i diversi software però rispecchia sempre degli accordi commerciali, per questo le case dei software BIM comunque tendono a preferire l'utilizzo di formati propri per lo scambio delle informazioni e lo scambio dei dati tra strumenti di case concorrenti nella maggior parte dei casi non funziona correttamente. Da questo si evince chiaramente la necessità di lavoro di ricerca e sviluppo per le normative e le tecnologie BIM.

1.4.3 Controllo delle interferenze

L'aumentare degli apporti interdisciplinari all'interno del progetto e la consistenza dei dati di partenza comportano una crescita delle informazioni da dover integrare all'interno del progetto, complicando la gestione dei dati e favorendo la possibilità di interferenze all'interno del processo.

All'interno dei processi BIM la capacità di controllo delle interferenze (comunemente definita *clash detection*) è una fase fondamentale e integrante (Fig.15). In un progetto basato sul BIM non si lavorerà con un unico modello, ma con diversi 3D per ogni disciplina coinvolta. A partire da un comune modello generalmente sviluppato dal gruppo di progettazione architettonica, ogni team approfondisce nel proprio modello gli aspetti

specifici secondo le proprie competenze; solo in una seconda fase i modelli vengono integrati ed è in questa fase che il controllo delle interferenze si rivela un passaggio chiave.

Il riscontro anticipato di errori e incongruenze all'interno del progetto ha considerevoli impatti sulla fase esecutiva, altrimenti caratterizzata da variazioni in corso d'opera, spreco di materiali, ritardi e spese extra previsione.

In sintesi gli applicativi BIM consentono di ottimizzare il coordinamento progettuale risolvendo le interferenze e gli errori nel modello virtuale dell'edificio, prima che la fase costruttiva abbia inizio.

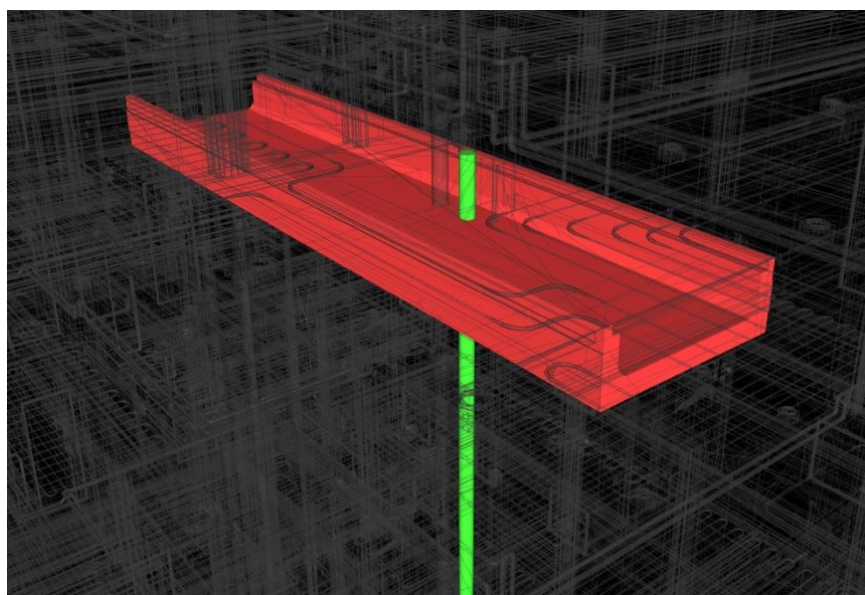


Figura 13- Il controllo delle interferenze all'interno dei processi BIM è una fase fondamentale e integrante

1.4.4 Analisi e simulazioni delle prestazioni energetiche

Il modello digitale offre un vero e proprio prototipo virtuale dell'edificio, modificabile, dotato di similarità comportamentale e prestazionale rispetto all'esistente, al fine di poter effettuare continue simulazioni e garantire così elevati livelli prestazionali.

Le analisi svolte sul modello dell'edificio possono facilitare l'individuazione delle principali criticità e inefficienze permettendo, nella fase successiva, di valutare differenti alternative di intervento controllando simultaneamente gli impatti rispetto a determinati fattori quali la riduzione dei consumi energetici, le emissioni CO₂, i tempi di ammortamento dell'investimento.

1.4.5 Gestione fasi costruttive (4D)

Per un efficace controllo delle fasi di esecuzione, organizzazione e gestione dei cantieri è possibile simulare e analizzare l'intero processo di costruzione dell'edificio fin dalle prime fasi progettuali, ottimizzando in questo modo spazi e risorse. Il processo costruttivo deve essere organizzato con logiche che strutturano la sequenza delle fasi andando a costruire virtualmente l'edificio prima che venga avviato il cantiere reale.

Gli applicativi BIM consentono quindi una pianificazione e un coordinamento ottimizzati attraverso la definizione della sequenza delle attività in cantiere, visualizzata e comunicata a tutti gli operatori responsabili, al fine di ottimizzare le situazioni di rischio e implementare correttamente le necessarie azioni e apprestamenti (Fig.16).

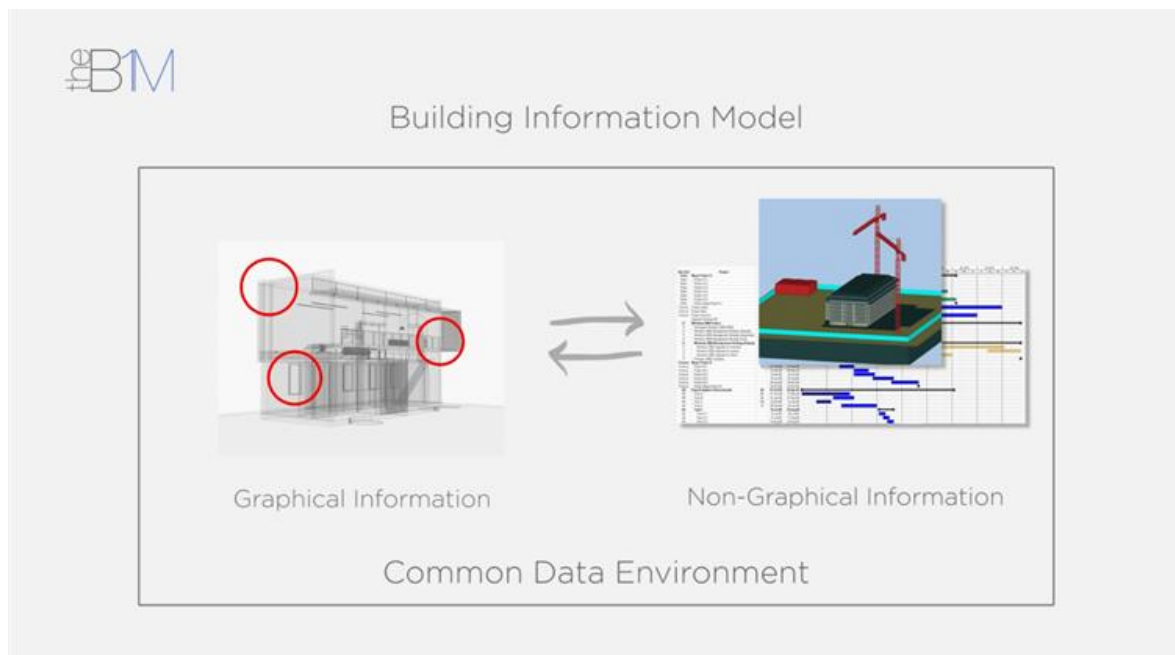


Figura 14- Le informazioni non grafiche, come la gestione delle fasi costruttive, sono collegate al modello geometrico e informativo

1.4.6 Controllo dei costi (5D)

L'uso delle tecnologie BIM per la quantificazione dei costi di progetto consente una più veloce e precisa stima dei costi negli interventi. All'interno dei processi BIM tutti gli elementi architettonici immessi sono facilmente estraibili e computabili, e gli abachi

aggiornati costantemente. La generazione automatica di abachi delle quantità a cui è possibile associare costi unitari garantisce una preliminare stima dei costi, consentendo ai progettisti di condurre scelte più consapevoli migliorando la qualità del progetto finale e rispettando i budget fissati (Fig.17).

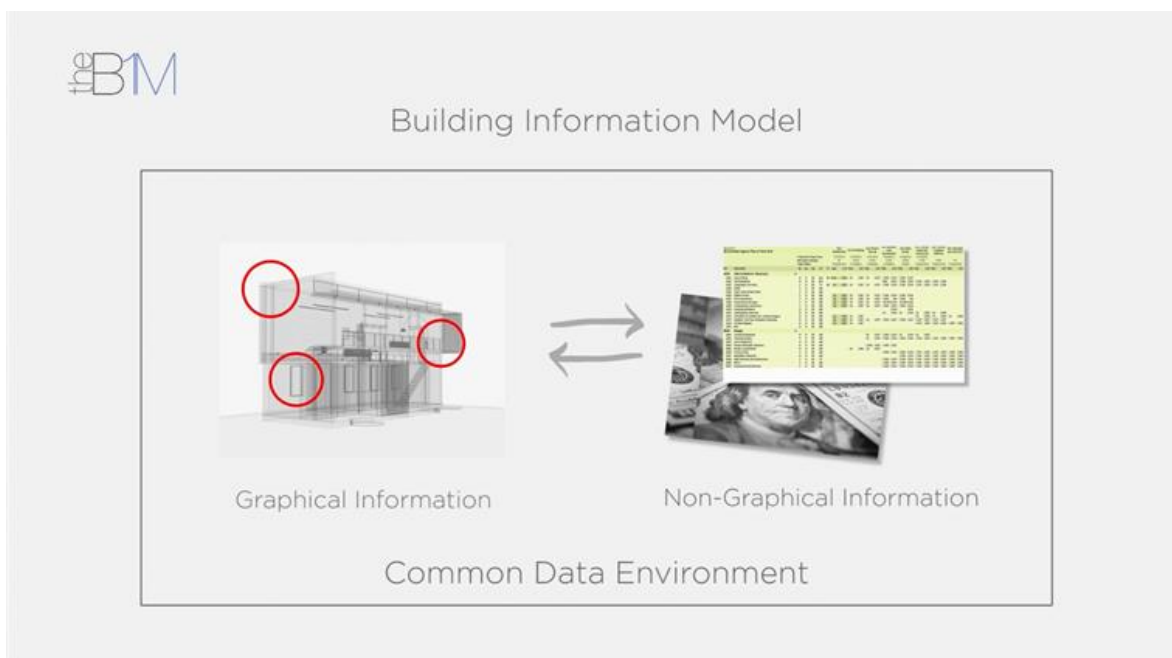


Figura 15- Le informazioni non grafiche, come il controllo dei costi, sono collegati al modello geometrico e informativo

1.4.7 Gestione e manutenzione (6D)

Il controllo della fase di esercizio e della manutenzione degli edifici, spesso caratterizzati da un alto tasso di tecnologie innovative, risulta fondamentale per garantire una effettiva gestione sostenibile durante l'intero ciclo di vita.

Gli applicativi BIM consentono di avere una base affidabile per la pianificazione delle attività di gestione e manutenzione dell'edificio: il modello parametrico tridimensionale è in grado di registrare, organizzare, archiviare, elaborare e divulgare tutte le informazioni anagrafiche, funzionali e tecniche relative all'edificio (Fig.18). Successivamente i dati archiviati nel database di progetto potranno essere aggiornati durante il ciclo di vita del fabbricato, in tal modo tutte le informazioni fondamentali

saranno disponibili all'istante, anche direttamente in cantiere attraverso smartphone o tablet con notevoli risparmi di tempo e senza perdita di dati.

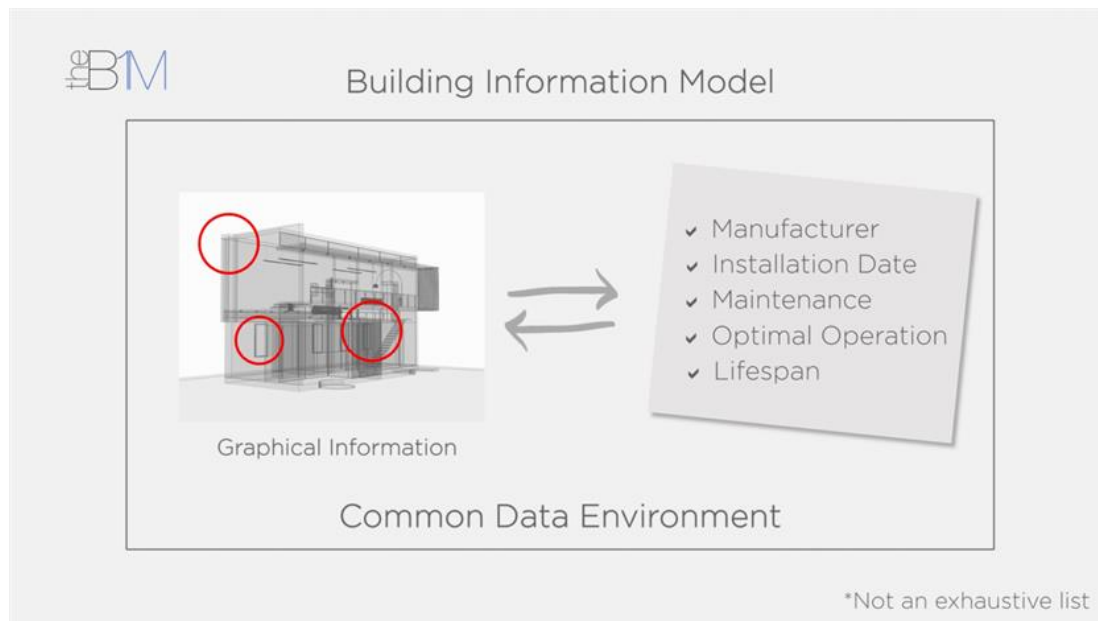


Figura 16- Le informazioni non grafiche, come quelle per la pianificazione delle attività di gestione e manutenzione dell'edificio, sono collegate al modello geometrico e informativo

1.4.8 I software BIM per la progettazione

Un'applicazione BIM, diversamente da un CAD generico in cui esistono solo linee e figure geometriche che non contengono nessun tipo di informazione e relazione, avvalendosi dell'utilizzo di oggetti 3D "intelligenti" ottimizza la progettazione degli edifici. Questi oggetti vengono definiti "intelligenti" poiché in grado di stabilire delle relazioni significanti con gli altri componenti del progetto, in analogia alla realtà costruttiva. I documenti sono coordinati, e fanno riferimento a un unico database. Le applicazioni BIM disponibili per il progetto architettonico sono molteplici e tra questi si possono citare:

- Archicad: risale ai primi anni Ottanta la sua commercializzazione da parte di Graphisoft, è quindi la più antica applicazione BIM. L'interfaccia di Archicad è intuitiva e relativamente semplice da usare. La maggior parte della modellazione avviene posizionando gli elementi dell'edificio nelle viste planimetriche creando contemporaneamente il modello 3D completo

dell'edificio. Il software dispone di librerie di oggetti di grandi dimensioni e ne consente anche la generazione attraverso il linguaggio di scrittura GDL (*Geometric Description Language*). La generazione del disegno in Archicad è gestita automaticamente dal sistema: ogni modifica apportata al modello è inserita di conseguenza nel layout dei documenti.

- Autodesk Revit: introdotto da Autodesk nel 2002, è attualmente il più noto leader di mercato per il BIM per la progettazione architettonica.¹⁵ Revit è una famiglia di prodotti integrati che include: Revit Architecture, Revit Structure, Revit MEP. La sua capacità di coordinare ogni elemento dell'edificio in un unico database permette l'aggiornamento e la gestione delle informazioni a partire dal disegno e dalle viste del modello, inclusa la programmazione dei lavori.
- Bentley System: introdotto nel 2004 offre un'ampia serie di prodotti collegati per architettura, ingegneria, le infrastrutture e la costruzione. Il software interpreta il BIM come un modello di progetto integrato da sviluppare con una serie di moduli applicativi tra cui: Bentley Architecture, Bentley Structural, Bentley Building Mechanical System, Bentley Building Electrical System, Bentley Facilities, Bentley Power Civil e Bentley Generative Components.
- AllPlan: è la soluzione software del gruppo Nemetschek introdotto sul mercato nel 1984. Il software consente di affrontare tutti gli aspetti della progettazione nello stesso ambiente operativo e con le stesse metodologie, lavorando ad un unico modello BIM in tutte le fasi della progettazione. AllPlan è organizzato in tre linee di prodotto: Architettura Prime, Architettura Premium e Ingegneria Premium. I suoi punti di forza sono la dimensione molto ridotta delle dimensioni dei file e una gestione grafica

¹⁵ ¹⁵ Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., *Il BIM - Guida completa al Building Information Modeling*, trad. it. Di Giuda G. M., Villa V., Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2016, p. 206, (ed. orig. *BIM Handbook*, John Wiley & Sons, 2011).

avanzata anche per modelli di grandi dimensioni e una ricca libreria di oggetti 2D e 3D.

Se volessimo aggiungere alle applicazioni BIM di progetto architettonico tutte quelle più specialistiche che possono essere utilizzate in maniera interoperabile per le diverse analisi ingegneristiche o gestionali, l'elenco sarebbe fin troppo lungo. Le tecnologie BIM in questi ultimi anni stanno progredendo velocemente, dimostrando di essere ad un livello di maturità sufficiente per essere utilizzate dall'industria delle costruzioni.¹⁶

1.4.9 Benefici e rischi nell'uso del BIM

Il passaggio alla progettazione "intelligente" con la metodologia BIM porta con sé benefici e rischi in quanto non si limita solamente ad un aggiornamento di tipo software ma anche ad un nuovo modo di approcciare il progetto, alla realizzazione, alla gestione dell'opera.

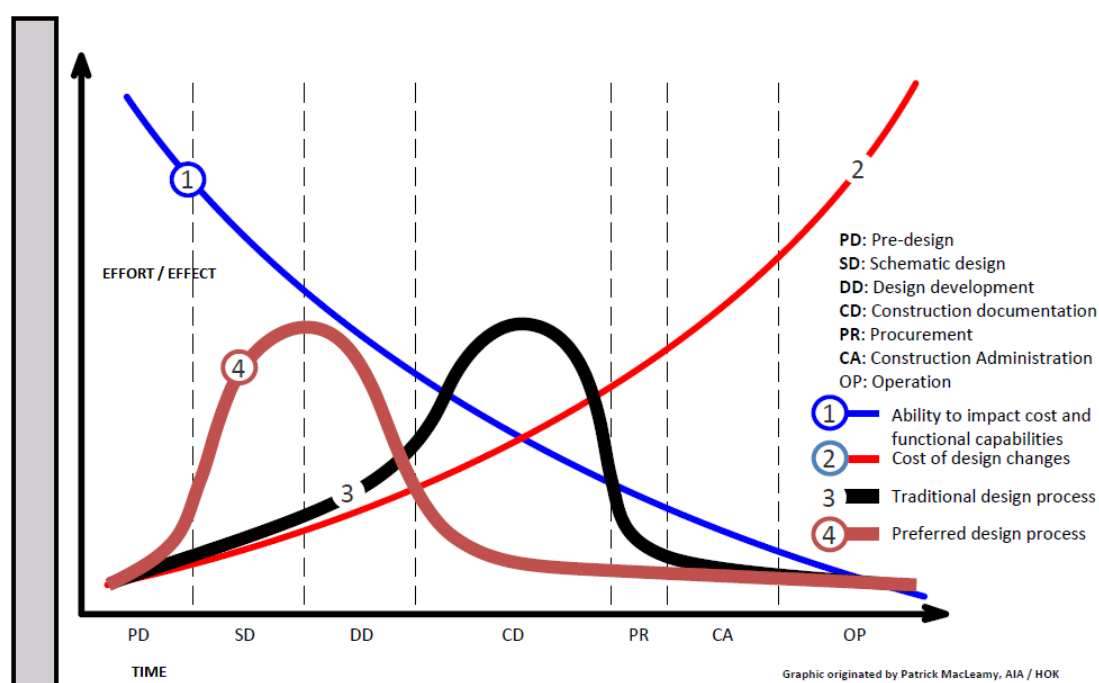


Figura 17- La cosiddetta "Curva di MacLeamy" che teorizza il miglior processo progettuale possibile

¹⁶ Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, pp.107-109.

La curva di MacLeamy (Fig.19) mostra che con il processo progettuale tradizionale i maggiori sforzi avvengono durante la fase di progettazione definitiva, quando diventa fondamentale la produzione della documentazione tecnica. In questo modo, però, risultano maggiori i costi dovuti alle varianti di progetto.

Al contrario, l'adozione della metodologia BIM prevede un impegno maggiore, in termine di risorse umane ed economiche, durante la fase preliminare della progettazione. Questo perché i progettisti devono impostare il lavoro in modo da ottimizzare le future procedure di calcolo e produzione della documentazione tecnica. Una volta fatto ciò, qualsiasi componente del team può apportare modifiche, anche sostanziali, al progetto in quanto queste si trasferiranno automaticamente su tutti gli aspetti ad esso connessi.

Ovviamente anche il *Building Information Modeling* presenta i suoi rischi, innanzitutto economici dovuti alla spesa iniziale necessaria alla formazione dei progettisti, all'aggiornamento hardware e all'acquisto delle licenze. Inoltre come si evince dalla Fig. 20 durante il periodo di variazione dei processi e di 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.

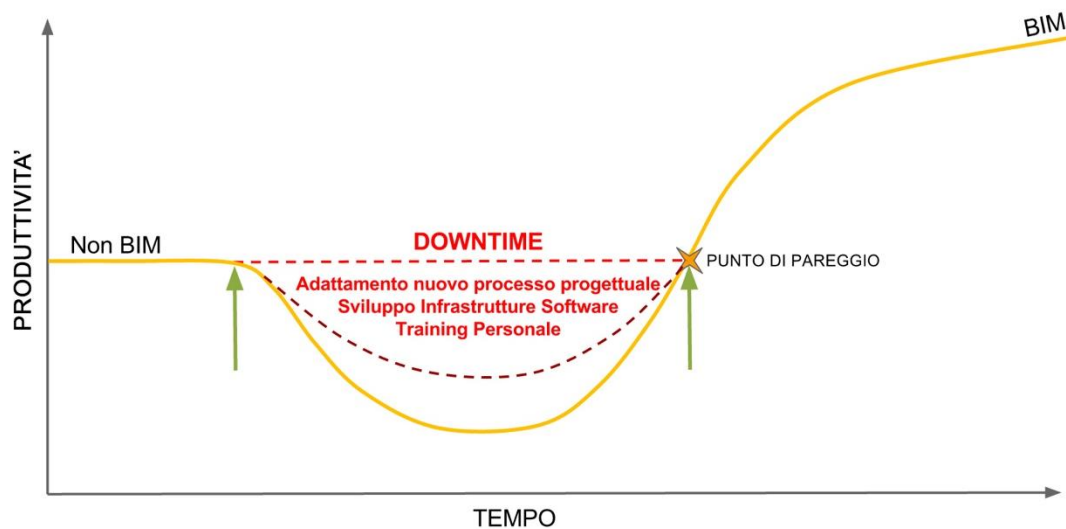


Figura 18- Ritorno dell'investimento a seguito dell'adozione della metodologia BIM

1.4.10 Conclusioni

Le parole chiave della rivoluzione BIM sono, dunque, cinque:

- Interoperabilità: possibilità di scambiare l'informazione tra i vari operatori e le varie professionalità coinvolte in tutte le fasi di vita dell'opera;
- Multidisciplinarietà: consente a specialisti di aree differenti di collaborare condividendo le proprie competenze e i propri parametri in un unico progetto, rendendo possibile una vera progettazione integrata;
- Velocità: in termini di tempo e risorse spese nel cercare e verificare, a ogni fase di processo, le informazioni necessarie per passare allo step successivo gestito da professionalità differenti, sia in termini di una corretta pianificazione dei tempi (e dei costi) di costruzione che elimina gli errori, sia in termini di semplificazione degli eventuali cambiamenti richiesti in corso d'opera;
- Trasparenza: tutte le informazioni dell'opera sono nel modello e disponibili a tutti; non esistono parti in ombra, viene virtualmente eliminata l'indeterminatezza;
- Sostenibilità: effetto della visione integrata del processo, che consente una

produttività più efficace, una riduzione dei rischi di cantiere, una migliore manutenzione e gestione dell'edificio e persino un corretto riciclo dei materiali post-demolizione.

Nonostante gran parte dei progettisti non riesca ancora ad inserirsi nella nuova ottica BIM, bisogna tener presente una crescente complessità che rende poco efficienti i tradizionali strumenti di progettazione. Infatti sempre nuove richieste in termini di esigenze e sostenibilità, nuove normative, nuove tecnologie stanno ampliando il panorama con cui il progettista si confronta, richiedendo quindi, strumenti che forniscano un approccio costruttivo adeguato.¹⁷ Se in molti Paesi europei ed extra europei il cambiamento è già stato intrapreso da molti anni, in Italia molto deve essere ancora fatto e, ad eccezione di poche imprese che si stanno adeguando al cambiamento, il quadro attuale mostra un Paese che rischia di essere il fanalino di coda in questa evoluzione della cultura tecnica. Fino a quando non si cominceranno ad intuire in maniera diffusa gli effettivi benefici di un sistema integrato e condiviso delle informazioni, come quello del BIM, difficilmente si riuscirà ad abbandonare un metodo di lavoro di tipo tradizionale.

¹⁷ Rizzarda C.C., Gallo G., *La sfida del BIM – Un percorso di adozione per progettisti e imprese*, p.30, AM4 Educational, Lecco, 2017.



Figura 19- Parole chiave legate alla metodologia del Building Information Modeling

CAPITOLO 2 – HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELING

2.1 Patrimonio storico ed HBIM

Il concetto di patrimonio storico e le pratiche di conservazione sono cambiati significativamente dal 1964, ovvero dalla stipulazione della “Carta di Venezia” nella quale l’obiettivo del restauro era quello di *“conservare e rivelare il valore estetico e storico del monumento...basato sul rispetto dei materiali originali e documenti autentici”*.

Da allora la portata del patrimonio si è espansa, sia in termini di tipologia sia di dimensioni, ma anche in relazione all’intervallo di tempo che intercorre tra la creazione e la conservazione.

Le caratteristiche e i contesti dei diversi luoghi del patrimonio storico hanno richiesto la revisione dei principi di conservazione e delle linee guida. Oggi il termine conservazione comprende qualsiasi azione volta a mantenere il significato culturale di un oggetto o di un luogo.¹⁸

Gli edifici storici rappresentano una grande percentuale del patrimonio esistente in Europa, soprattutto in Italia. Proprio per questo motivo vanno tutelati garantendo la loro conservazione attraverso una regolare manutenzione. Ciò non implica solamente l’adempiere alle norme in materia di salubrità e sicurezza ma anche l’attuazione di tutti i procedimenti e le attenzioni che permettono la catalogazione di documenti relativi allo stato di salute dei fabbricati durante tutto il loro ciclo di vita.

A tale fine le potenzialità emerse dall’utilizzo degli strumenti BIM permettono di raccogliere la documentazione relativa a un fabbricato in modo ordinato favorendo la consultazione dei dati e la loro valutazione, elementi non superflui quando si fa riferimento a edifici il cui patrimonio informativo può risultare rilevante. Per questo da alcuni anni si

¹⁸ De la Torre M., *Value and Heritage Conservation*, Heritage & Society, volume 6, p.155, 2013.
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/2159032X13Z.00000000011>

sente parlare di HBIM, acronimo di *Historic Building Information Modeling*, proprio a sottolineare il rapporto stretto che esiste tra il processo, lo strumento e il costruito.¹⁹

La differenza sostanziale tra il processo HBIM rispetto al BIM convenzionale avviene nel tipo di informazioni che i modelli digitali raccolgono e come questi vengono acquisiti. Se da una parte il BIM aiuta a coordinare le diverse figure del processo edilizio per pianificarne la realizzazione e computarne le quantità di cantiere, l'HBIM si concentra sul rilievo, sulla definizione dello stato di conservazione dei luoghi e dei materiali.

Questo perché l'esatta conoscenza di come un edificio è stato realizzato (*as-built*), delle trasformazioni subite nel tempo e quindi di quali sono le sue condizioni allo stato dell'arte (*as-is*), è condizione essenziale per seguire una programmazione di gestione e di manutenzione capace di garantire, non solo la sicurezza e il confort al suo interno, ma anche per assicurare un utilizzo ottimale dell'edificio in ogni sua parte. Tale approccio conoscitivo non si limita alla sola archiviazione di dati ma necessita di impostare una metodologia di lavoro basata sulla condivisione del dato tra i diversi attori coinvolti nel processo, sull'inserimento e aggiornamento dei dati, di approfondimenti successivi e di indagini costanti nel tempo. Ovviamente, per garantire ciò, è necessario un investimento economico sia per l'adeguamento *software e hardware* sia per la formazione del personale in quanto deve essere in grado di utilizzare nuovi programmi e di ottimizzare la gestione dei nuovi dati e il loro aggiornamento nel tempo. Inoltre, per le attività legate al costruito, devono essere sostenuti costi legati alla digitalizzazione in quanto l'avvio delle attività potrebbe essere inizialmente più oneroso a causa della difficoltà di reperimento dei dati, della complessità e dimensioni del patrimonio immobiliare da digitalizzare. Raramente si ha la certezza dell'esatta posizione delle componenti non visibili come impianti e strutture e delle caratteristiche con le quali sono state realizzate, messe in opera e mantenute nel tempo. Per garantire la loro esatta posizione quindi bisogna utilizzare attrezzature di ultima generazione, associate a tempistiche molto lunghe e grandi costi, oppure effettuare prove distruttive e saggi, cosa però impossibile da applicare sull'intero patrimonio costruito e su ogni sua componente.

¹⁹ Garagnani S., *HBIM nell'esistente storico. Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio*, Ingenio, p.1, 2015.

Bisogna quindi impostare un lavoro che verrà costantemente implementato e corretto nel tempo con i dati raccolti, con differenti livelli di approfondimento legati a diversi interventi sul costruito.

Esiste, quindi, sicuramente un costo nella digitalizzazione BIM del patrimonio costruito, costo che però va confrontato con quello dovuto alla costante mancanza dei dati e verifica dei vari elaborati nella tradizionale progettazione. Infatti esistono, molte volte, diverse versioni dello stesso file, una per ogni operatore, mai totalmente uguali, contenenti le diverse informazioni specifiche ad ogni competenza. Nessun file descrive davvero la realtà, per cui è sempre necessario un sopralluogo cautelativo di verifica, operazione che ha un costo continuo.²⁰

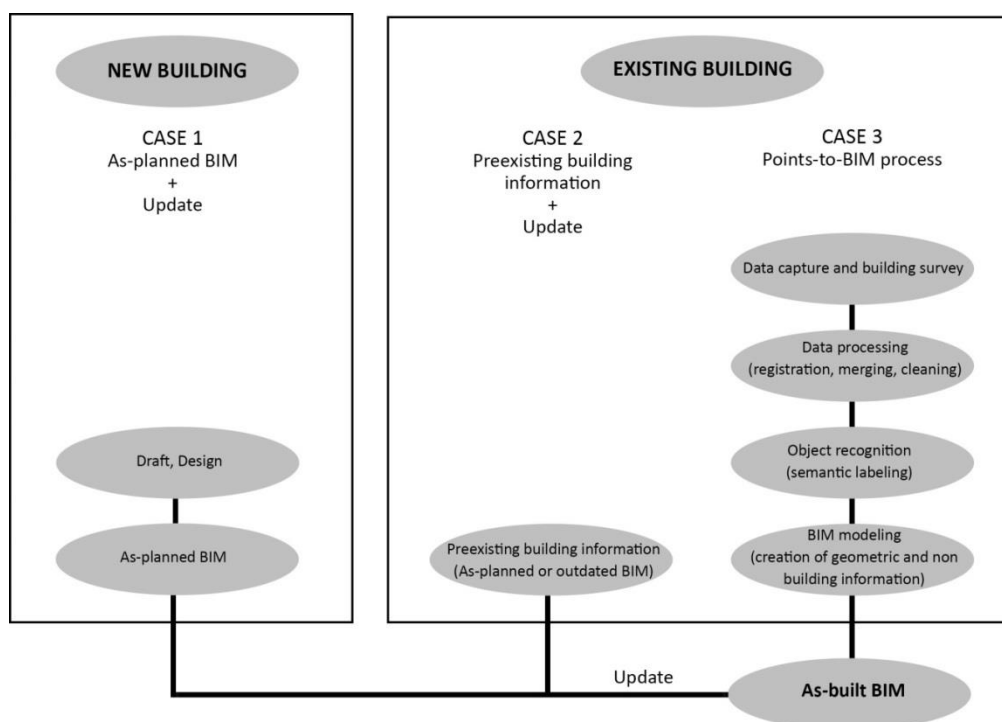


Figura 17- Processi di creazione BIM per edifici nuovi ed esistenti

²⁰ Osello A. e Ugliotti F. M., *BIM Building Information Modelling. Verso il catasto del futuro. Conoscere, digitalizzare, condividere*, Gangemi Editore, Roma, 2017, p.33-37.

2.2 Creazione del modello e gestione dei dati

L'attività di modellazione è finalizzata alla restituzione di una rappresentazione dello stato di fatto degli edifici (*as-is* o *as-built*), dove il valore aggiunto si configura nella possibilità di implementare, sempre di più, il *database* con informazioni inerenti agli elementi e alle attività di manutenzione.²¹

Per garantire un flusso di informazioni nel tempo è necessario, per il patrimonio storico, partire, oltre che raccogliendo tutta la documentazione, da una fase di rilievo.

Il rilievo degli edifici e dei loro elementi costituenti richiede metodi di acquisizione in grado di descrivere ogni singolo dettaglio in maniera efficace, senza scegliere arbitrariamente l'informazione da registrare.²² I risultati del rilievo rappresentano un importante strumento di conoscenza e supporto per le analisi tematiche e diagnostiche sugli edifici, essenziale per il loro programma di mantenimento e quindi la successiva stesura dei piani di manutenzione. In questo senso, la ricerca HBIM si sta orientando verso la generazione di oggetti intelligenti con diversi livelli descrittivi, appoggiandosi a metodi di rilevamento accurati come le scansioni laser terrestri o la fotogrammetria digitale ad alta definizione.

2.2.1 Dal rilievo tradizionale al laser scanner

“Con il termine rilevamento si intende il complesso di indagini e rilevazioni volte ad individuare le qualità significative sotto l'aspetto morfologico, dimensionale, figurativo e tecnologico; le qualità significative di un manufatto edilizio o di un insieme urbano utili a valutarlo, indagarlo, al fine di costruire un modello tridimensionale semplificato attraverso il quale si potrà analizzare l'opera agevolando l'interpretazione delle stesse fasi di trasformazione. Il rilevamento è pertanto un processo che deve portare alla conoscenza profonda dell'opera in esame, per metterne in evidenza tutti i suoi

²¹ Osello A. e Ugliotti F. M., *BIM Building Information Modelling. Verso il catasto del futuro. Conoscere, digitalizzare, condividere*, Gangemi Editore, Roma, 2017, p.47.

²² Letellier R., *Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places*, The Getty Conservation Institute, 2007.

valori, da quelli geometrici a quelli dimensionali, da quelli figurativi a quelli strutturali, dai materiali alle tecniche costruttive fino alle condizioni di degrado.”²³

Si apre così la “Dichiarazione sul rilevamento architettonico” nella quale per intervenire sul patrimonio culturale si presuppone la conoscenza del bene architettonico o ambientale nella sua completezza.

Prima di intervenire bisogna infatti compiere un’indagine dal punto di vista storico, tecnico, tecnologico, individuando in questo modo la metodologia con la quale l’organismo si è costituito e modificato nel tempo, sia autonomamente, sia per mano dell’uomo.

Il rilievo architettonico contribuisce all’attuazione di questo processo conoscitivo in quanto ci permette di comprendere il processo costruttivo seguito, le scelte operate anche attraverso lo studio del materiale caratterizzante l’edificio.

Per molti secoli la rappresentazione architettonica si è basata sul rapporto carta-proiezione rendendo così il disegno *“un sistema di trasposizione di dati bidimensionali in una forma ancora bidimensionale in grado di conservare la vera forza, oppure capace di trasporre in forma bidimensionale un sistema tridimensionale.*”²⁴

Il disegnatore però difficilmente è in grado di restituire la reale forma dell’edificio, in quanto segnata dallo scorrere del tempo che ne modifica gli elementi esistenti e ne aggiunge di nuovi arricchendo il costruito oltre lo schema originario. In questa differenza tra ideale e reale, l’uso del computer gioca un ruolo determinante poiché, attraverso la costruzione di modelli virtuali, consente la formazione di rappresentazioni capaci di simulare il reale in modo molto complesso e articolato.

Il rilievo tradizionale però non è tra i più efficaci per raggiungere questo fine poiché, sebbene esistano innumerevoli metodi di misurazione (dalla rotella metrica, ai misuratori all’ultrasuono, ai sistemi fotogrammetrici...) nessuno di questi risulta particolarmente idoneo ad acquisire più di qualche punto al secondo, cosa invece necessaria

²³ Dichiarazione sul rilevamento architettonico, Roma, Parigi, Barcellona, 2000.

²⁴ Blasi C. ed Coissin E., *La Fabbrica del Duomo di Parma. Stabilità, rilievi e modifiche nel tempo*, Fondazione Cariparma, Parma, 2006 p.231.

in presenza di strutture complesse. In questo ultimo caso il modello procedurale certamente più appropriato prevede la definizione delle superfici mediante il rilievo di molti punti. Questa operazione di rilevamento avviene oggi sfruttando la tecnologia laser.²⁵

La tecnologia usata dai laser scanner consente l'acquisizione in breve tempo di un'elevata quantità di dati in modo da eseguire il rilievo geometrico degli oggetti con un ragguardevole livello di dettaglio e completezza. Il risultato di uno scanning è un insieme numerosissimo di punti, chiamato 'nuvola di punti', distribuiti sull'oggetto da rilevare, in funzione del grado di dettaglio che si vuole raggiungere.

Negli ultimi cinquant'anni questo metodo ha conquistato sempre maggior utenti di diversi settori produttivi grazie alla qualità dei dati prodotti in concomitanza all'abbattimento dei costi e della durata delle operazioni di scansione.

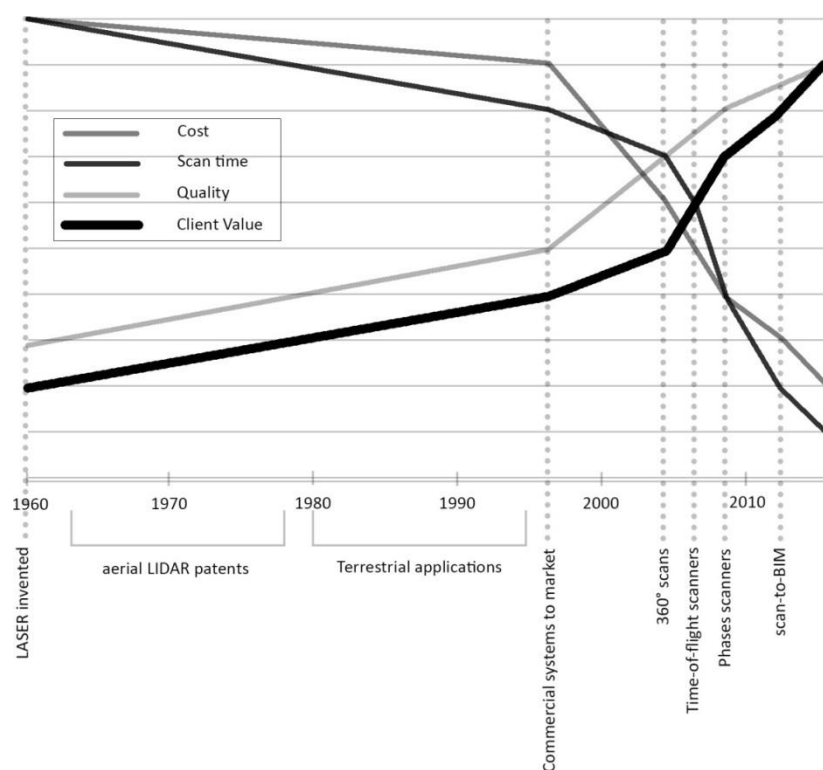


Figura 18- Diagramma rappresentativo dei cambiamenti dei costi, tempo di scansione, qualità e soddisfazione del cliente dall'invenzione della tecnologia laser ad oggi.

²⁵ Blasi C. ed Coissin E., *La Fabbrica del Duomo di Parma. Stabilità, rilievi e modifiche nel tempo*, Fondazione Cariparma, Parma, 2006 p.232-233.

La scansione laser può essere utilizzata in qualsiasi fase di un progetto. Le attività che potrebbero essere considerate potenzialmente idonee per l'applicazione della scansione possono essere:

- documentazione di un sito o di una struttura prima che questo venga rinnovato in modo da contribuire al processo di progettazione ma anche ad una documentazione storica;
- monitoraggio strutturale o dello stato di conservazione, ad esempio guardando come la superficie di un oggetto cambia nel tempo in risposta al clima, all'inquinamento o al vandalismo;
- contribuire a modelli tridimensionali, animazioni e illustrazioni per la presentazione in musei o semplicemente in internet;
- analisi spaziali non possibili senza dati tridimensionali;
- aiutare l'interpretazione delle caratteristiche archeologiche e dei loro rapporti con il paesaggio contribuendo così a comprendere lo sviluppo del sito e il suo significato per l'area circostante.²⁶

Non è possibile ipotizzare il rilevamento di tutti i punti attraverso una scansione sola sia per la conformazione sia per la complessità dell'oggetto. Il raggio laser rileva la distanza dei punti che incontra lungo il suo percorso rettilineo; per oggetti aggettanti, che quindi coprono parti retrostanti, o in caso di ostacoli è necessario effettuare scansioni multiple da punti differenti in modo da ricoprire tutte le parti da rilevare. Le diverse scansioni vengono poi unite creando la completa nuvola di punti 3D.

Tipologie di laser scanner

I *laser scanner* possono operare su tre diversi principi: triangolazione, tempo di volo (*Time of flight*) e differenza di fase (*Phase comparison or Range image laser*).

²⁶ Historic England, *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to user on laser scanning in archaeology and architecture*, English Heritage, 2011.

Gli scanner a triangolazione calcolano le coordinate 3D attraverso la triangolazione di un punto o di una striscia di luce del laser. Non forniscono un elevato livello di precisione ma tendono ad essere utilizzati molto per lo studio di piccole caratteristiche.

I sistemi basati sul tempo di volo offrono una precisione fino ai 5 millimetri e una portata massima che varia tra gli 800 e i 1000 metri. Questo tipo di scanner può raccogliere molte decine di migliaia di punti ogni minuto deviando l'impulso laser attraverso la superficie di un oggetto, utilizzando uno specchio rotante o un prisma.²⁷

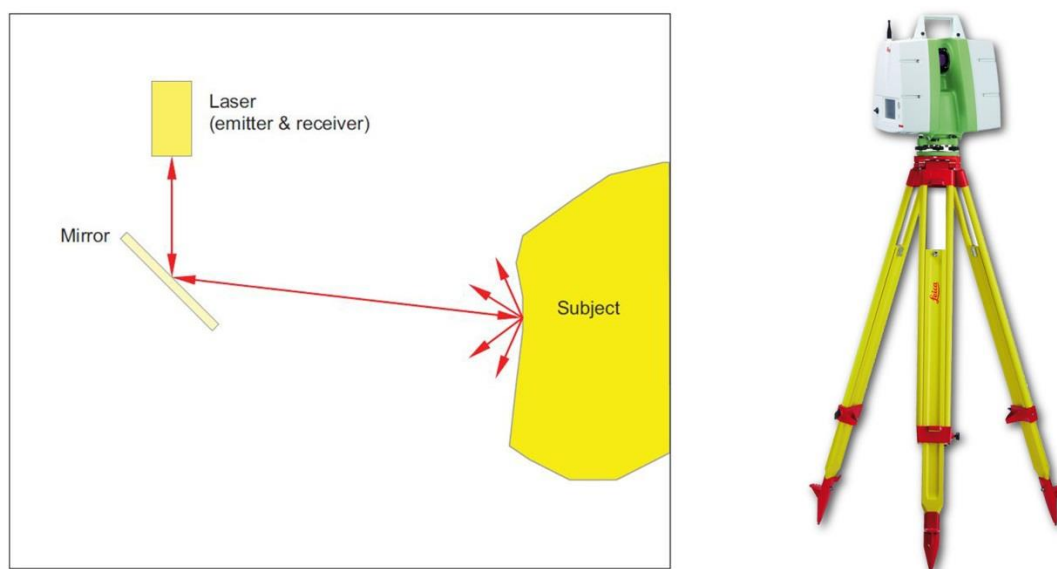


Figura 19- Schema del sistema di misurazione di un laser scanner a tempo di volo e immagine dello strumento. Il laser emette un impulso e parte un timer. Lo specchio riflette il fascio che colpisce l'oggetto e lo riflette. Il fascio riflesso ritorna al ricevitore e il timer si ferma. Il tempo e l'angolo registrato dello specchio vengono utilizzati per determinare le coordinate XYZ.

I laser scanner a differenza di fase, invece, raggiungono una precisione fino ai 2 millimetri in quanto hanno valori più elevati di cattura di dati (milioni di punti al minuto) ma hanno una portata più limitata che raggiunge al massimo i 300 metri. Il loro funzionamento si basa 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, ovvero coordinate cartesiane avente l'origine nel punto di stazione.

²⁷ Historic England, *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to user on laser scanning in archaeology and architecture*, English Heritage, 2011, p.5.

2.2.2 Metodologia di modellazione

Per impostare una struttura dati solida in grado di sostenere l'intero processo e contemporaneamente sufficientemente flessibile per essere implementata nel tempo, è necessario definire una corretta e valida metodologia di modellazione. Già dalle prime fasi, risulta utile identificare gli obiettivi ed i futuri utilizzi del modello, stabilendo, in questo modo, le informazioni minime e necessarie che deve contenere. Per conoscere il livello di affidabilità che il modello può raggiungere e la qualità del risultato, è utile fissare un LOD adeguato. Negli edifici esistenti la capacità di aumentare il livello di dettaglio e di sviluppo degli elementi è legata alla qualità e quantità della documentazione di partenza, per questo è importante avviare una fase conoscitiva preliminare. Importante è la creazione di Parametri Condivisi, che rappresentano attributi aggiuntivi che permettono di arricchire il modello di informazioni e sfruttarlo in maniera intelligente. Questi, infatti, sfruttano al massimo la modalità di estrazione dei dati attraverso la predisposizione di abachi, attraverso i quali è possibile elencare gli elementi presenti nel modello, nonché i parametri ad essi associati. Gli abachi rappresentano delle viste di progetto, in quanto riflettono qualsiasi modifica applicata al modello e viceversa. Tutto ciò costituisce un valore aggiunto per la conoscenza e la gestione del patrimonio.

2.2.3 Utilizzo del modello BIM per il Facility Management

Associare le informazioni al modello fa sì che questo non risulti più solamente un semplice elaborato tridimensionale ma uno strumento multi-dimensionale permettendo un'analisi ed un controllo migliore rispetto ai processi tradizionali e mettendo a disposizione le informazioni necessarie per gestire il ciclo di vita di un edificio con le proprie operazioni di gestione e manutenzione. Inoltre il concetto di interoperabilità, espresso nel capitolo precedente, permette lo scambio di informazioni al fine di effettuare simulazioni specialistiche (illuminotecniche, strutturali ecc.) o integrazioni con altri sistemi

informativi, ottimizzando il processo di gestione e quindi estendendo il proprio significato a metodologia di management.²⁸

Le principali applicazioni del BIM per il *Facility Management* sono:

Inventario dei componenti e degli asset tecnologici

Il database centrale è in grado di immagazzinare le informazioni sul manufatto ed organizzarle attraverso un inventario dei componenti edilizi e delle attrezzature tecnologiche. Questi inventari sono consultabili attraverso abachi di quantità e abachi dei materiali permettendo, così, un rapido accesso alle informazioni.

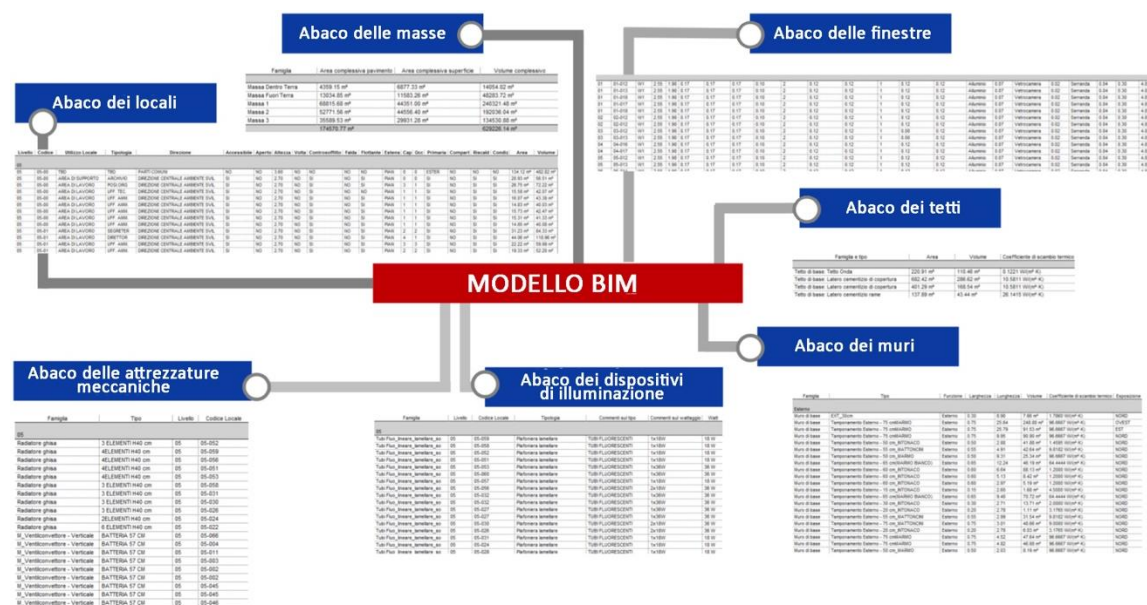


Figura 20- - Inventario dei componenti e degli asset tecnologici contenuti ed estrapolabili dal modello BIM

Gestione degli spazi

Il modello BIM permette di disporre in modo automatico dell'inventario degli spazi dell'edificio, visualizzando tutti i locali presenti nel modello e le relative caratteristiche (% area netta, % di utilizzo dello spazio, area riscaldata ecc.) nell'abaco dei locali.²⁹ Questo consente una conoscenza puntuale ed aggiornata degli spazi, della loro destinazione d'uso,

²⁸ Osello A. e Ugliotti F. M., *BIM Building Information Modelling. Verso il catasto del futuro. Conoscere, digitalizzare, condividere*, Gangemi Editore, Roma, 2017, p.57.

²⁹ Osello A., Ugliotti F. M., Semeraro F. e SYSTEMA, *Il BIM orientato al Facility Management*, 2016.

<http://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-orientato-facility-management/#>

degli occupanti e delle Unità Organizzative consentendo di generare ottimizzazioni ed impostare processi in base alle reali esigenze.

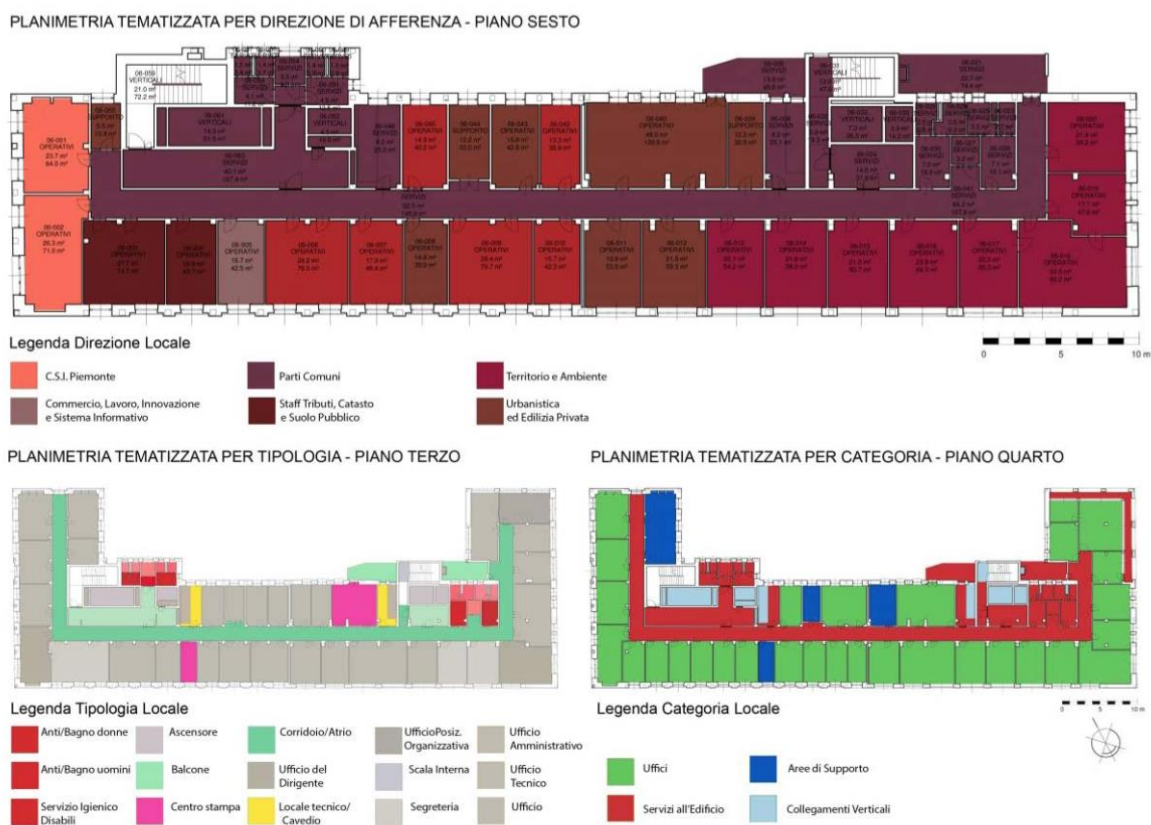


Figura 21- Caso studio ToBIM Meucci 4 realizzato da Luciana Ricca, planimetrie tematizzate per direzione di appartenenza, tipologia locale e categoria locale

Simulazioni illuminotecniche ed energetiche

Con il BIM al centro delle attività di FM, è fondamentale caratterizzare le famiglie degli asset impiantistici. I parametri di progetto del software parametrico, però, non sono sufficienti a caratterizzare gli elementi del modello sotto questo punto di vista, pertanto è necessario introdurre dei parametri condivisi, specifici per le attività manutentive. I Più importanti risultano quelli “dati del prodotto”, “localizzazione”, “collegamenti” e “manutenzione”. Quest’ultimo serve a definire strategia, tipo, frequenza, costo e durata dell’intervento che si intende valutare, anche al fine di comparare scenari alternativi di intervento.

Il modello, inoltre, può essere utilizzato per effettuare simulazioni e certificazioni energetiche in modo da promuovere operazioni di retrofit. Se ben impostato, il modello fornisce un'accurata caratterizzazione dell'involucro edilizio in termini di geometria, materiali e proprietà di scambio termico.

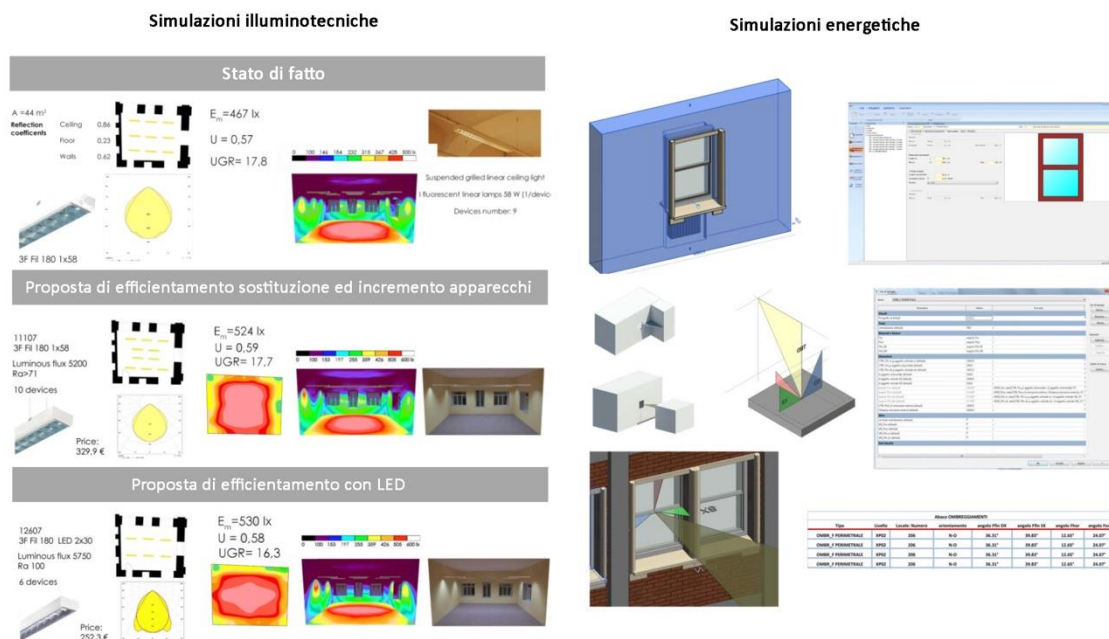


Figura 22- Caso studio ToBIM Archivio Storico della Città di Torino, simulazioni illuminotecniche e energetiche

Ristrutturazione e rifunzionalizzazione

Il modello BIM può essere molto utile per effettuare interventi di riqualificazione in quanto è possibile disporre di elementi che appartengono ad una collocazione temporale diversa, introducendo così il fattore tempo. Attraverso l'abaco delle costruzioni/demolizioni e la tradizionale visualizzazione "giallo e rosso", ottenuta attraverso un filtro "Esistente" e "Demolito", è possibile individuare, quantificare e contabilizzare gli interventi edilizi, configurando scenari alternativi.³⁰

³⁰ Osello A. e Ugliotti F. M., *BIM Building Information Modelling. Verso il catasto del futuro. Conoscere, digitalizzare, condividere*, Gangemi Editore, Roma, 2017, p.69.

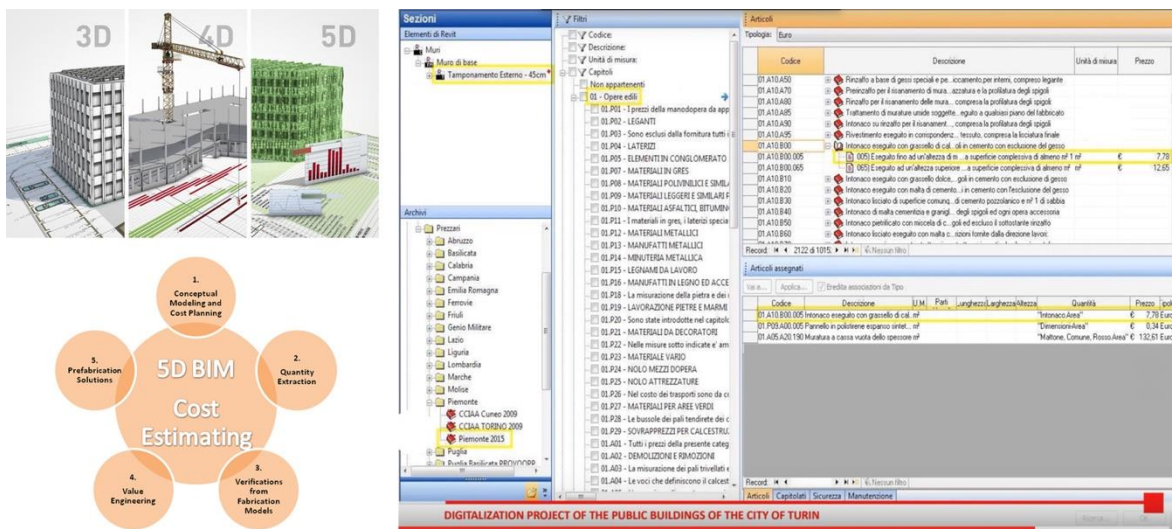


Figura 23- Caso studio ToBIM Scuola Elementare "Grazia Deledda", metodologia per il 5D e computo dei materiali

Risorsa visuale logica ed informativa

Il BIM, associato alle nuove tecnologie e forme di comunicazione, consente di arricchire la percezione sensoriale dell'ambiente costruito e di stabilire sia con gli utenti sia con gli operatori del settore un alto grado d'interazione. La Realtà Aumentata permette di visualizzare geometrie tridimensionali e informazioni numeriche, la Realtà Virtuale, invece, permette l'immersione in un ambiente virtuale che simula l'ambiente reale. Si può raggiungere ciò attraverso l'utilizzo di cellulari e tablet o di visori che permettono l'immersione dell'utilizzatore nel mondo virtuale. Possono essere visualizzate la documentazione di *As-is/As-Built*, schede di manutenzione di asset specifici, il posizionamento degli impianti, il montaggio di alcuni componenti, istruzioni operative per la formazione del personale, la visualizzazione di scenari alternativi.³¹

³¹ Osello A., Ugliotti F. M., Semeraro F. e SYSTEMA, *Il BIM orientato al Facility Management*, 2016.

<http://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-orientato-facility-management/#>



Figura 24- Progetto di digitalizzazione degli edifici pubblici della città di Torino, mappa degli edifici da esplorare attraverso la realtà virtuale e aumentata

2.2.4 Conclusioni

La digitalizzazione del patrimonio edilizio sta acquisendo sempre più importanza negli ultimi anni e prevede, come già detto precedentemente, la raccolta e l'immagazzinamento intelligente della documentazione disponibile. In questo senso non si tratta più, quindi, di realizzare dei disegni in pianta descrittivi in maniera più o meno affidabile dei dati in essi contenuti, ma si tratta di realizzare dei modelli tridimensionali che permettono di associare alle geometrie le informazioni necessarie per descrivere in maniera

corretta gli elementi architettonici, strutturali e impiantistici che devono essere quotidianamente gestiti e aggiornati dal FM e da tutti i soggetti interessati al processo.³²

Il BIM, in questo modo, costituisce da una parte lo strumento che diventa parte integrante non solo della progettazione e della costruzione ma anche della gestione dell'edificio, dall'altra la metodologia di scambio dei dati tra i diversi soggetti coinvolti, limitando il disperdersi delle informazioni ed i costi che ne derivano.

2.3 Esempi di casi studio

Con il termine HBIM possiamo intendere un nuovo approccio alla modellazione di edifici storici, volto allo sviluppo di modelli BIM partendo da dati di rilievo tradizionale e *laser*. Proprio per questo, va garantita un'accuratezza nella restituzione 3D e nell'aderenza alle caratteristiche intrinseche dell'oggetto d'architettura che attraverso il modello si vuole gestire. E' utile, quindi, sviluppare metodi semplici ma che garantiscano comunque accuratezza, precisione e qualità di rappresentazione coerenti con i dati acquisiti. Contemporaneamente, però, l'elaborato deve configurarsi come strumento-multi-dimensionale, contenendo in modo preciso informazioni sulla geometria, proprietà degli elementi e dei materiali, necessarie per la gestione del ciclo di vita di un edificio e per gettare le basi per le operazioni di manutenzione.

In questo paragrafo verranno esposti e messi a confronto diversi casi studio per analizzare le varie metodologie con le quali si possono affrontare le tematiche sopra espresse.

Il primo è quello della *Chiesa di Santa Maria di Portonovo*. In questo caso studio, l'obiettivo principale è stato quello di garantire un'alta qualità geometrica del modello effettuando comparazione tra modello *Revit* e nuvola di punti. Attraverso l'utilizzo del *laser scanner* è stato eseguito il rilievo della chiesa ottenendo, in questo modo, una nuvola di punti 3D da cui partire. La prima sfida è stata quella di evitare un modello troppo semplificato rispetto alla morfologia reale degli oggetti. L'approccio utilizzato costruisce

³² Osello A. e Ugliotti F. M., *BIM Building Information Modelling. Verso il catasto del futuro. Conoscere, digitalizzare, condividere*, Gangemi Editore, Roma, 2017, p.41.

direttamente il modello *in place* sulle nuvole di punti, minimizzando il numero di passi, evitando di perdere accuratezza, qualità dei dati e dettaglio. La visualizzazione della nuvola di punti in ogni sua vista è riuscita grazie all'utilizzo di ReCap. Alcuni oggetti sono stati creati utilizzando i comandi di base altri, invece, sono stati creati esternamente come famiglie e poi importati nel modello. Inoltre per alcuni elementi sono stati creati oggetti parametrici.

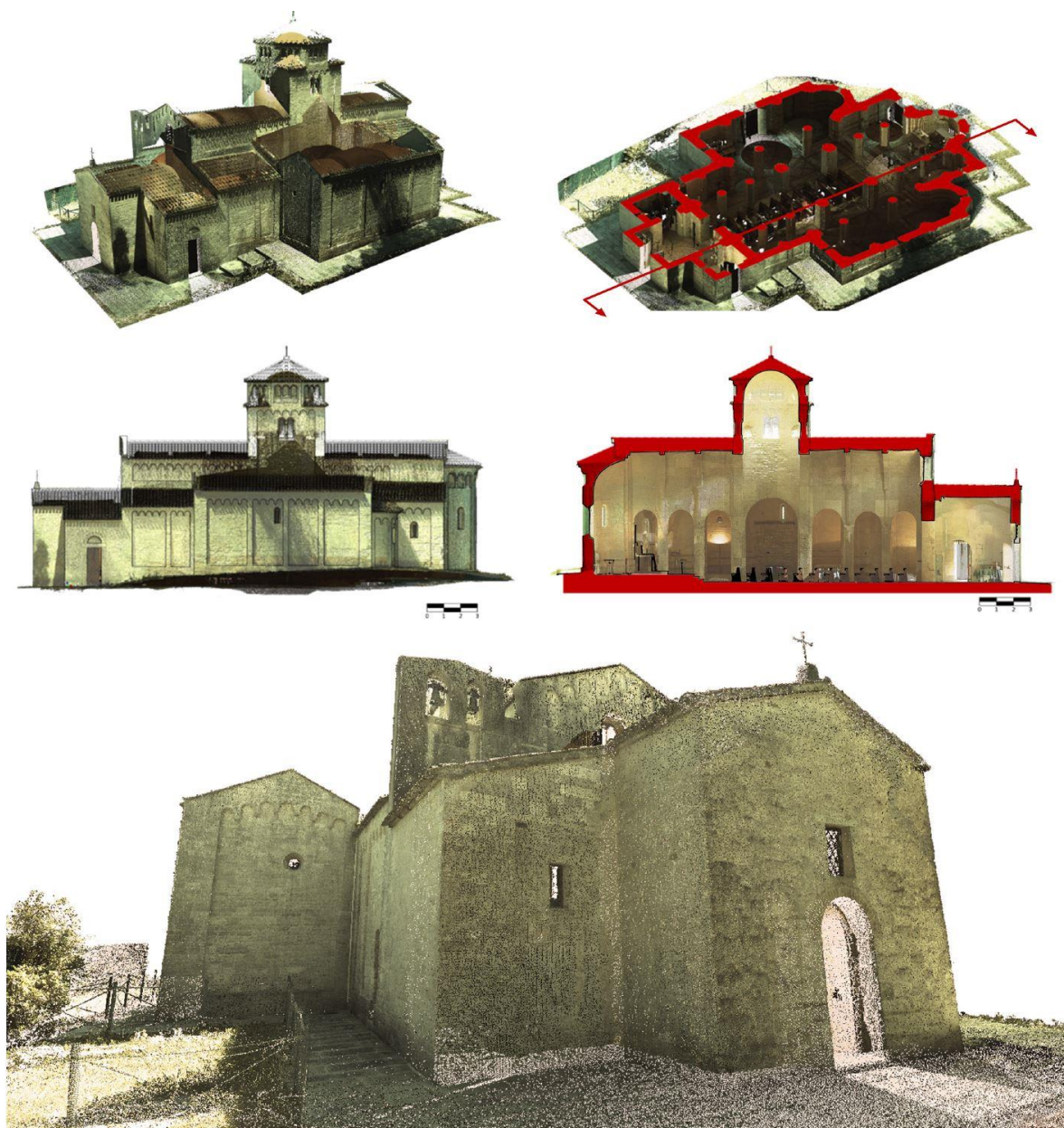


Figura 25- Nuvola di punti della Chiesa di Santa Maria di Portonovo

Alcuni elementi hanno mostrato diversi problemi in fase di modellazione poiché troppo complessi. Per questo motivo sono stati divisi e collegati successivamente. Ciò è accaduto per le volte costolonate dove la volta e il costolone sono stati modellati separatamente.

Un punto molto forte del caso studio è stato quello di ottenere una buona geometria che descrivesse le volte a crociera in quanto esse hanno una generatrice non orizzontale e le direttrici non sono perpendicolari. Revit non è stato in grado di gestire le intersezioni per forme così irregolari, per cui sono stati creati dei solidi con annessi solidi di sottrazione generando però alcuni artefatti. Alla fine della modellazione è stata effettuata una valutazione qualitativa e quantitativa della precisione attraverso il software CloudCompare, utilizzando le nuvole di punto come riferimento. L'intero modello presenta deviazioni molto basse raggiungendo un livello di precisione molto alto, considerando che sono compresi anche elementi senza piani di riferimento. Le maggiori differenze riguardano la modellazione di elementi senza l'utilizzo della nuvola o troppo complessi.³³

Il caso studio della Chiesa di Santa Maria di Portonovo si è limitato alla coerenza globale del modello BIM con i dati geometrici, in molte strutture, però, possono essere presenti elementi architettonici da non sottovalutare come ad esempio gli edifici classici, ricchi di modanature ed apparati decorativi. In questi casi bisogna, quindi, porre particolare attenzione all'analisi degli ordini e delle forme degli elementi, applicando geometrie e gerarchie differenti. Esempio di ciò può essere il caso studio dell'ala rinascimentale di *Palazzo Ferretti ad Ancona*.

L'intero processo, come nel caso precedente, è iniziato con un'operazione di rilievo *laser scanning* effettuata su un totale di sessantanove stazioni tra interne ed esterne. In una prima fase è stato ipotizzato di seguire la stessa procedura di modellazione del caso precedente, ma le limitate capacità di calcolo a disposizione dei tirocinanti hanno costretto a utilizzare gli elaborati dimensionali, resi comunque coerenti con la globalità del rilievo *laser scanner*.

³³ Quattrini R., Clini P., Nespeca R., Ruggeri L., *Misura e Historical Information Building sfide e opportunità nella rappresentazione di contenuti 3D semanticamente strutturali*, Giugno 2016.

<http://disegnarecon.univaq.it>

Anche per Palazzo Ferretti la modellazione è avvenuta in ambiente Revit ma sono state evidenziate alcune complessità nel caso di murature non perfettamente ortogonali tra loro e nella necessità di definire numerosi piani di riferimento. La fase più onerosa ha riguardato le modanature delle facciate principali con la realizzazione di famiglie caricabili per le quali sono state studiate semantica e vincoli geometrici coerenti con la pratica del costruire.

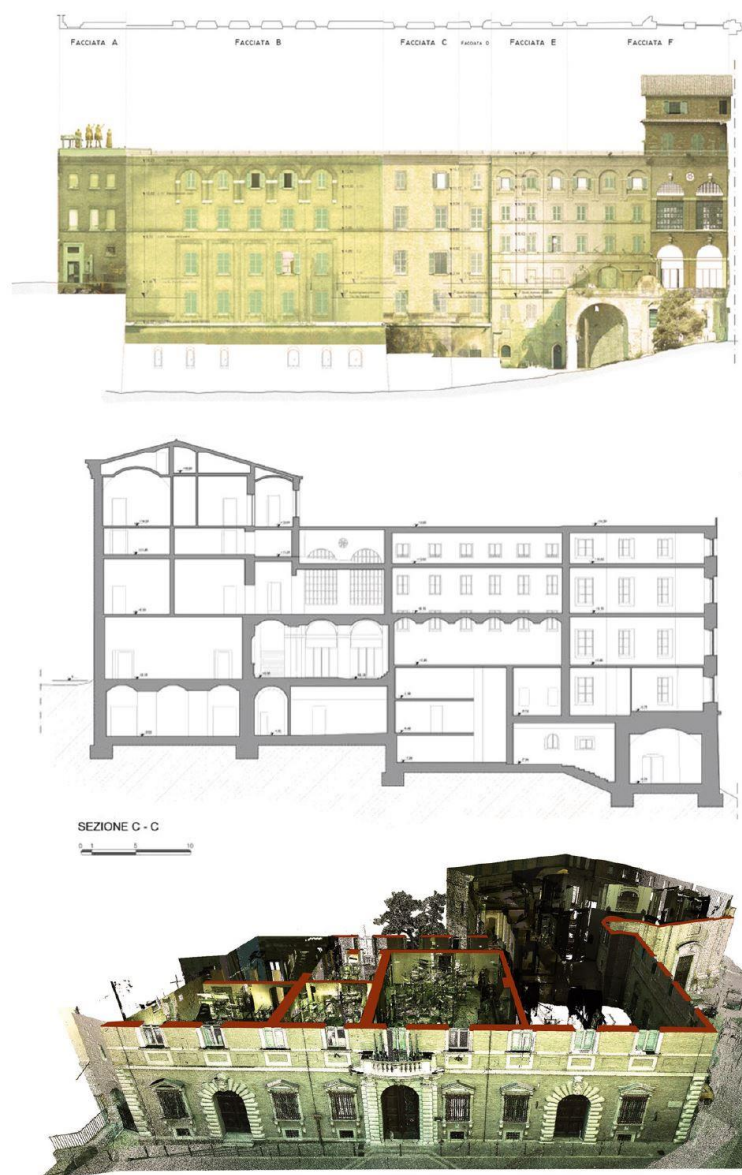


Figura 26-Rilievo laser scanner di Palazzo Ferretti: sviluppo tramite ortofoto da nuvola di punti delle facciate ovest, sezione e vista prospettica del modello a nuvola di punti.

Come nel caso precedente è stata condotta una valutazione qualitativa sempre all'interno di CloudCompare ottenendo, però, precisioni poco elevate data la frammentarietà della filiera adottata. Gli esiti più significativi riguardano la realizzazione delle librerie parametriche per le modanature esterne ed interne dell'edificio. Sono state definite, infatti, tutte le finestre ad edicola, le cornici delle porte e le bugne, la balconata trionfale e tutte le cornici, con i relativi elementi di base e collegamenti semanticamente grazie alla nomenclatura delle parti e alla strutturazione insita in Revit. Inoltre è in corso il trattamento delle famiglie e l'esportazione in IFC per verificare il mantenimento della struttura dati e la compatibilità con altri descrittori, permettendo di valutare l'interoperabilità e la correttezza ontologica del modello esportato e analizzato.

Questi due casi studio dimostrano che è possibile sviluppare modelli 3D di alta qualità in grado di connettere i dati da rilievo geometrico con i database tematici descrittivi e ottenere librerie parametriche di elementi architettonici, a partire da nuvole di punti o dall'indagine diretta tradizionale.³⁴

Tutto questo è punto di partenza per la creazione di un modello intelligente in grado di sostenere la gestione degli edifici. La potenzialità di uno strumento BIM si esprime nella possibilità di caratterizzare gli oggetti del modello, con informazioni specifiche correlate, sia in forma grafica che numerica, introducendo elementi utili per il *Facility Management*.

All'interno del progetto *ToBIM*, progetto in cui si cerca di sfruttare al massimo le potenzialità di utilizzo del *Building Information Modeling* per la digitalizzazione del patrimonio pubblico della città di Torino, vi sono molti casi studio in cui sono state acquisite informazioni utili per il FM come destinazione d'uso degli spazi e la loro struttura di afferenza, capacità e occupanti.

Il primo esempio è quello della *Sede del Corpo di Polizia Municipale* di via Bologna 74 in cui è stato creato un inventario dei componenti e degli asset tecnologici garantendo la gestione e la tracciabilità delle informazioni, il ciclo di vita delle attrezzature, le garanzie e le informazioni relative ai prodotti. Le informazioni sugli spazi ed i terminali

³⁴ Quattrini R., Clini P., Nespeca R., Ruggeri L., *Misura e Historical Information Building sfide e opportunità nella rappresentazione di contenuti 3D semanticamente strutturali*, Giugno 2016.

<http://disegnarecon.univaq.it>

impiantistici sono state organizzate sia a livello grafico sia tabellare. Nell'edificio si contano più di settecento ventilcollettori ed oltre i quattromila apparecchi d'illuminazione. Gli abachi si aggiornano in automatico a seconda delle variazioni apportate e risultano facilmente esportabili.



Figura 27- Documentazione riguardante informazioni sulla distribuzione degli spazi e inventario dei componenti e degli asset tecnologici contenuti nel modello BIM della Sede del Corpo di Polizia Municipale.

Il modello BIM può costituire la base geometrica anche per effettuare simulazioni luminose, utilizzando software specialistici. Sempre all'interno del progetto ToBIM possiamo analizzare il caso studio della *Scuola Elementare Don Leonardo Murialdo* in cui sono stati testati i software *ElumTools*, plug-in di *Revit*, e *DIALux*, ampiamente utilizzato dai professionisti per la progettazione e verifica illuminotecnica. L'obiettivo è stato quello di approfondire lo studio della luce artificiale e diurna in ambienti interni. *ElumTools* è utilizzato per calcolare punto per punto l'illuminazione su un piano di lavoro o una superficie utilizzando la geometria e le famiglie dei dispositivi di illuminazione presenti nel modello *Revit*. L'utilizzo di *DIALux*, invece, è possibile attraverso il processo di interoperabilità, utilizzando il formato di scambio gbXML. I test hanno evidenziato che il primo software è ottimale per effettuare analisi preliminari mentre il secondo considera con elevata precisione tutti gli aspetti necessari per un progetto illuminotecnico completo.³⁵

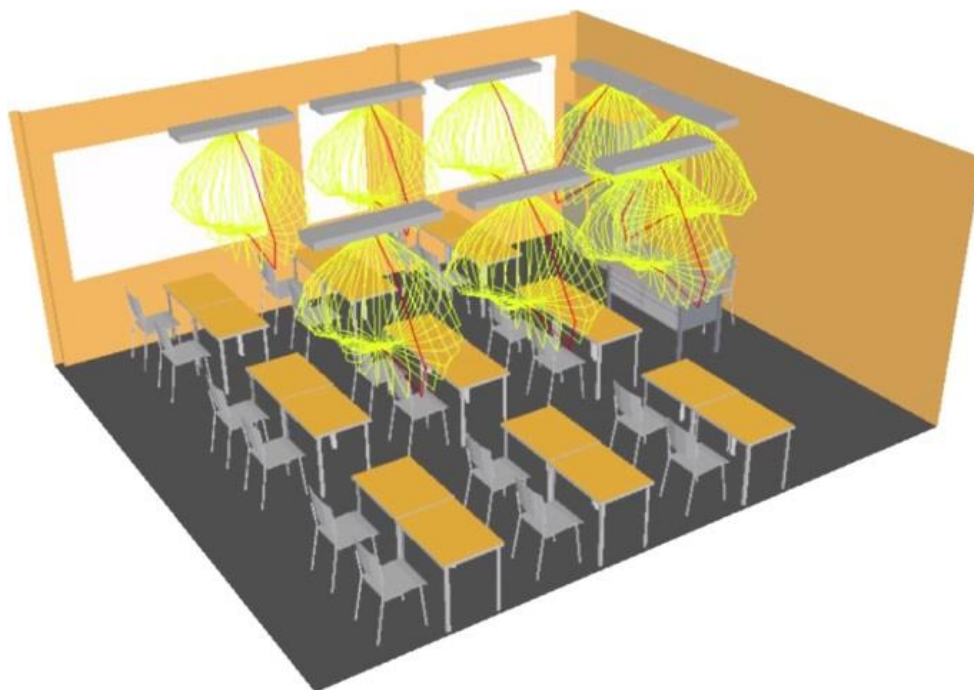


Figura 28- Visualizzazione dei solidi fotometrici in *DIALux* della Scuola Elementare Don Leonardo Murialdo.

³⁵ Osello A. e Ugliotti F. M., *BIM Building Information Modelling. Verso il catasto del futuro. Conoscere, digitalizzare, condividere*, Gangemi Editore, Roma, 2017, p.63.

I casi studio sopra citati sottolineano l'importanza della fase di definizione di standard di progetto per riuscire a sfruttare al massimo le potenzialità della modellazione parametrica in funzione delle reali necessità. Hanno approcciato alla creazione del modello in maniere differenti, contestualmente all'obiettivo da raggiungere, trasformandolo in un ricco database di informazioni continuamente implementabile, in base alle esigenze, e poliedrico in quanto non si limita più solamente alla geometria ma si estende configurandosi come strumento multi-dimensionale in grado di permettere la gestione e il controllo dell'edificio.

CAPITOLO 3 – CASO STUDIO VILLA VICTORINE

3.1 Introduzione

Il caso studio riguarda gli interventi di restauro e rifunzionalizzazione di Villa Victorine a Pisa, attualmente sede del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-Ambientali dell'Università di Pisa. Questo edificio permette di sperimentare perfettamente una nuova metodologia di lavoro per la digitalizzazione del patrimonio storico partendo dal rilievo dell'edificio attraverso laser-scanner fino ad arrivare alla gestione degli interventi e dell'edificio stesso.

Su questo edificio attualmente è già in esecuzione il piano di recupero e rifunzionalizzazione con metodologia di rilievo e restituzione tradizionale. Il progetto, infatti, prevede il restauro delle facciate esterne, in cui sono riscontrabili alcune forme di degrado, attraverso puliture, riprese di parti di intonaco, verniciature e sostituzione di infissi e serramenti. All'interno, invece, gli interventi sono di maggior spessore in quanto sono volti a sanare carenze strutturali e a soddisfare i requisiti igienici e funzionali dell'edificio. A seguito dei lavori di riqualificazione e restauro, l'immobile andrà ad ospitare gli spazi del Sistema Bibliotecario di Ateneo come l'archivio, la sala conferenze e riunioni. Per quanto riguarda il giardino intorno alla Villa si interverrà soprattutto nello spazio posto sul retro dell'edificio. Il viale presente sarà ridefinito attraverso l'utilizzo di una ghiaia stabilizzata carrabile, perimetrato da una lunga cortina di siepi, ricavando circa quattordici parcheggi. Sarà collocato un nuovo impianto di illuminazione esterno, nuove pavimentazioni per i marciapiedi e le scale presenti.

Partendo, quindi, da informazioni prodotte da rilievi tradizionali ed elaborati 2D ed implementandoli, come attraverso l'utilizzo di nuvole di punti per confrontare le geometrie, si configura un modello 3D ricco di dati necessari alla progettazione e attuazione dell'intervento e per la gestione futura dell'edificio.

3.2 Brevi cenni storici

Villa Victorine è posta su Viale delle Piagge a Pisa, in un'area principalmente a destinazione residenziale, adiacente ad un'ampia zona di verde pubblico.

L'apertura del viale risale circa alla metà dell'ottocento su progetto dell'Ing. Materassi³⁶, nel quale si prevedeva la sistemazione dell'argine destro dell'Arno mediante una rettifica dello stesso. Il nuovo argine fu piantumato con alberi ad alto fusto e vi furono disegnate aiuole e piazzali per la sosta. L'intera area venne quindi completamente ridisegnata e acquistò così un'immagine diversa da quella che aveva in origine, tipica della campagna, che caratterizzava la zona delle Piagge prima della realizzazione del nuovo paesaggio. A seguito di questa realizzazione anche i terreni prospicienti la sponda del fiume e adiacenti al viale subirono negli anni successivi una conseguente trasformazione dovuta al fervore edilizio che si verificò nella zona.

L'epoca di costruzione del fabbricato risale intorno al 1854, probabilmente come abitazione principale o anche come residenza di campagna. Fino al 1872 l'edificio appartenne alla famiglia Chiti che successivamente lo passò in proprietà alla famiglia Pardelli fino alla fine dell'ottocento, quando finì intestato alla famiglia Pacini che nel 1942 lo vendette all'Università di Pisa insieme ad altre proprietà.³⁷

3.2.1 Caratteri architettonici

I caratteri stilistici della villa sono quelli tipici dell'architettura ottocentesca neoclassica. Sulla facciata principale sono presenti, oltre a diversi tipi di materiali, come cotto e pietra serena, cornici e decorazioni dal disegno molto ricco, di ispirazione neogotica. Il marcapiano in cotta presenta archetti a sesto acuto con cornici e decorazioni floreali; i peducci del sottogronda sempre in cotto, sono decorati con foglie d'acanto, così come le mensole in pietra serena del balcone centrale. La facciata ha una simmetria scandita da tre partiture sottolineate da lesene con cornici intonacate. Al piano primo presenta archi a tutto

³⁶ Il progetto Materassi risale al 1847, ma i lavori di sistemazione dell'origine proseguiranno anche negli anni successivi, con la progressiva piantumazione di arbusti e nuove essenze arboree..

³⁷ Billi B., Conti G., *Villa Victorine. Recupero di un'architettura ottocentesca pisana*, Edizioni ETS, Pisa, 2000, p. 15-18.

sesto all'interno dei quali sono ricavate finestre con architravi modanati e davanzali in pietra serena, mentre al piano terra le finestre sono ancora inserite negli archi a tutto sesto però scanditi da una partitura di finto bozzato poligonale. Il portale d'ingresso ha cornice intonacate fra le quali sono inserite due colonne in cotto, che si avvolgono a spirale intorno al portale stesso. Gli intonaci sono lisci nella parte alta della facciata principale, mentre nella parte bassa presentano una finta bugnatura realizzata in intonaco. Le facciate laterali, invece, sono lisce tranne negli angoli, dove sono ripetute le medesime lesene presenti sulla facciata.



Figura 29- Dettagli di alcuni elementi architettonici presenti nella facciata di Villa Victorine.

L'edificio è costituito da tre piani, il seminterrato, dove sono presenti laboratori, biblioteca con annessa sala lettura e locali di deposito, il piano terra, formato da quattro vani più ingresso, ed un piano primo sempre di quattro vani, più un vano scale. I due piani superiori ospitano alcuni uffici del personale docente e tecnico-amministrativo del dipartimento e sono dotati di servizi igienici a ciascun livello. Gran parte dei locali presentano coperture a volta di tipo a schifo, fatta eccezione dell'ingresso del piano terra, coperto da una volta a botte a tutto sesto decorata ad affresco, ed alcune stanze al primo livello che presentano una copertura piana.

3.3 Acquisizione dati

Il rilievo degli edifici e dei loro elementi costituenti richiede metodi di acquisizione in grado di descrivere ogni singolo dettaglio in maniera efficace. I risultati del rilievo rappresentano un importante strumento di conoscenza e supporto per le analisi tematiche e diagnostiche sugli edifici, essenziale per il loro programma di mantenimento.

Nell'ambito del progetto di Villa Victorine sono state utilizzate tre diverse tipologie di rilievo: tradizionale, laser scanner e fotogrammetrico.

Il rilievo tradizionale non è stato eseguito direttamente, in quanto erano disponibili elaborati grafici precedentemente redatti, ma è stato verificato attraverso l'uso del *laser scanner* e fotogrammetria. Questa metodologia di rilievo ha permesso il rilievo geometrico degli oggetti con un ragguardevole livello di dettaglio e completezza. Sono state eseguite tre scansioni laser, due laterali e una centrale rispetto alla facciata principale in modo da ricoprire gran parte dell'edificio.



Figura 30- Nuvola di punti di Villa Victorine ottenuta dalle tre scansioni laser.

Per garantire e permettere la georeferenziazione del rilievo è stato necessario far riferimento al supporto di un rilievo topografico eseguito su tutti i *target* applicati e su un determinato numero di punti di verifica. Infatti, mediante l'utilizzo della stazione totale Leica TCR 407 Power, sono stati rilevati ventiquattro punti sulla facciata e i target in corrispondenza del posizionamento della stazione laser.



Figura 31-Facciata principale di Villa Victorine con evidenziati i punti di verifica rilevati mediante l'utilizzo della stazione totale.

Se l'acquisizione dei dati sul campo è stata effettuata abbastanza rapidamente rispetto, ad esempio, ad un rilievo tradizionale, la fase successiva di elaborazione dei dati ha richiesto tempi ben più lunghi ed un procedimento accurato attraverso l'utilizzo di software di *reverse engineering* dedicati alla gestione delle nuvole di punti. Come primo passo è stata effettuata una prima operazione di pulizia del rumore e di riduzione delle nuvole di punti al fine di eliminare i punti in eccesso o fuori posto. Successivamente la nuvola è stata importata all'interno del programma Geomagic Design X, dove è stata

ulteriormente ripulita e preparata per l'operazione di *mesh*. L'intento è quello di non fermarci alla nuvola di punti che, importata all'interno di un software BIM, permetterebbe la modellazione dell'edificio, ma di creare direttamente degli oggetti di libreria, attraverso *mesh*, in grado di essere fedeli allo stato di fatto per geometria e texture e implementati con informazioni. Sono state effettuate diverse prove, in base al grado di accuratezza, per ottenere una *mesh* adeguata. La prima, con una precisione dello scanner di 5 millimetri, ha generato un elemento non sufficientemente definito. La seconda, con una precisione di 3 millimetri, ha migliorato il modello rispetto alla precedente ma ancora in modo non sufficiente, soprattutto per gli elementi di dettaglio. La terza prova, con una precisione di 1 millimetro, invece, è risultata idonea e più pulita. Una volta effettuata la *mesh*, anch'essa è stata ripulita da elementi non opportuni e sono stati riempiti i vuoti creatisi da sovrapposizione di oggetti che hanno impedito il rilievo dei punti al laser scanner in quanto non visibili.

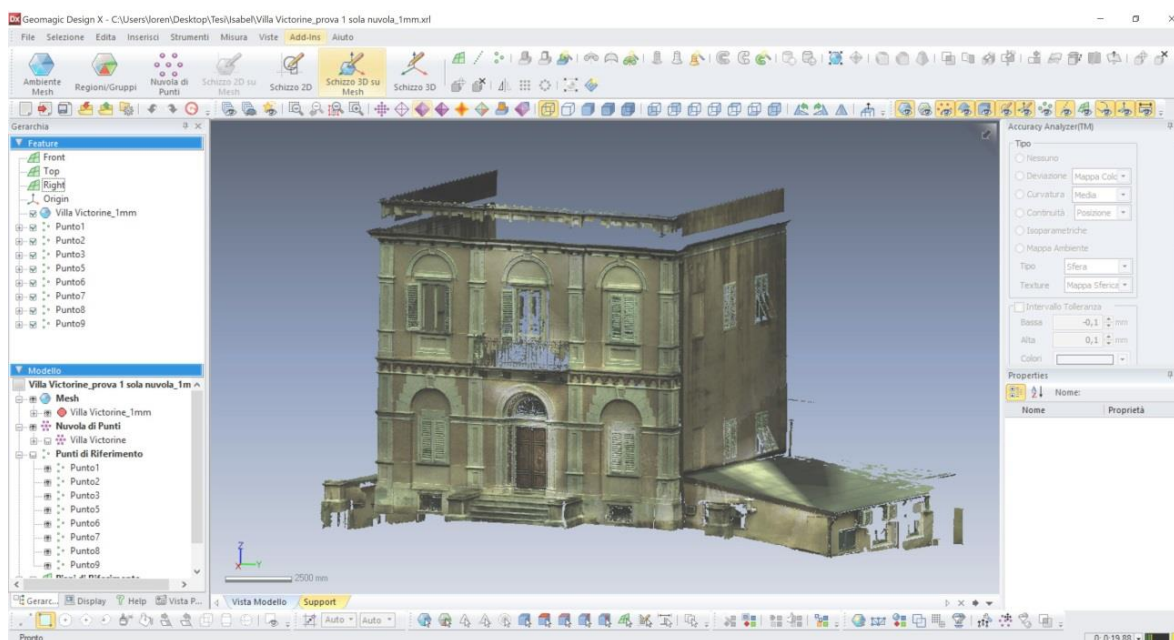


Figura 32- Nuvola di punti inserita all'interno del software Geomagic Design X per l'operazione di pulizia.

Il rilievo tridimensionale è stato integrato con le tecniche di fotogrammetria digitale per ottenere un modello ancora più veritiero. Lo stesso *laser scanner* è dotato di una camera interna che acquisisce immagini fotografiche ma per raggiungere una maggior risoluzione è

stato fatto uso del software Agisoft PhotoScan che permette l'elaborazione di immagini per ricavarne, successivamente, una nuvola di punti del modello e la sua texturizzazione. Parallelamente al lavoro descritto in precedenza, infatti, è stata prodotta una campagna fotografica dell'edificio. Sono state scattate foto il più possibile ortogonali alla facciata da rilevare e con una sovrapposizione del 70% circa. Gli scatti sono stati effettuati ad altezze e angolazioni diverse proprio per permettere la sovrapposizione.

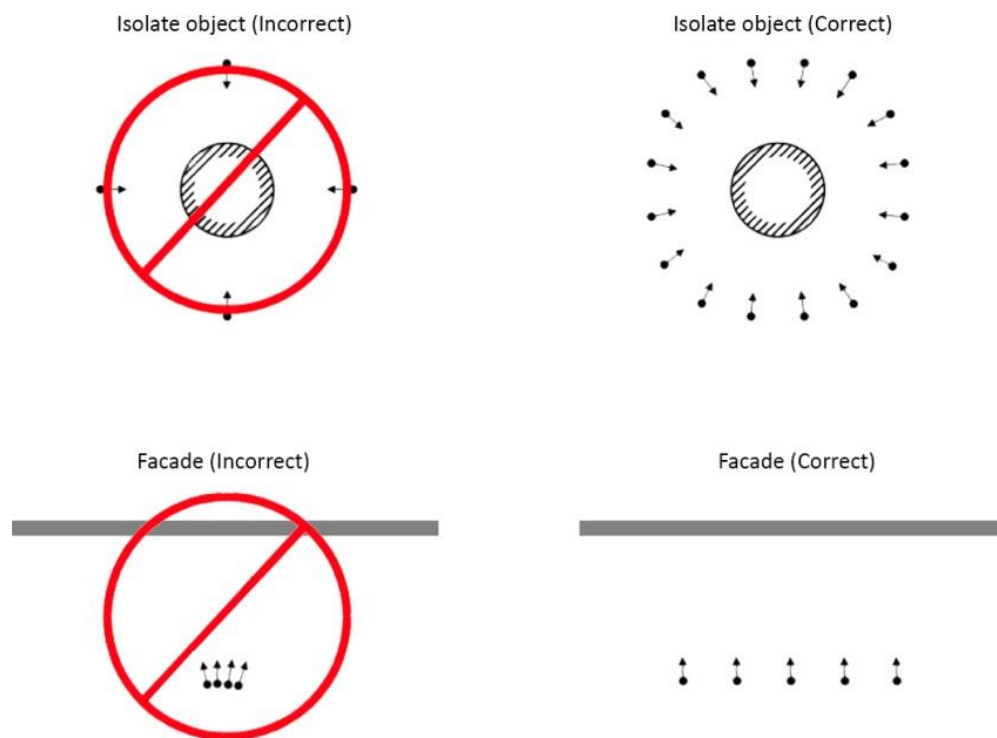


Figura 33-Modalità di acquisizione fotografica per il corretto sviluppo della nuvola di punti all'interno del software Photoscan.

Le foto sono state poi inserite all'interno del software (*Add Photos*) e allineate (*Align Photos*), in questo modo Agisoft PhotoScan perfeziona la posizione della telecamera di ogni fotografia per la creazione di una *Sparse Cloud*, una nuvola rada di punti che permette di individuare la geometria dell'oggetto. Dopo tale procedimento, sono stati inseriti dei *markers*, corrispondenti ai punti precedentemente rilevati con la stazione totale, presenti nelle varie foto, e le coordinate CVS (*Import CVS*) per consentire una maggior precisione e georeferenziazione. Dopo aver riallineato le foto una seconda volta è stato controllato non vi fossero errori o non allineamenti e si è proseguito alla creazione della nuvola densa

(*Build Dense Cloud*). E' possibile siano presenti delle zone con punti non utili o coperte, ad esempio, dalla vegetazione che possono essere eliminate attraverso appositi strumenti (*Optimize Cameras*).

L'intero procedimento è stato effettuato per ogni singola facciata e per due diversi livelli di dettaglio delle fotografie, in quanto è stato utilizzato sia un obiettivo Nikon 20 millimetri sia 50 millimetri. Per la facciata principale è stata scelta la nuvola di punti creata con l'obiettivo 50 millimetri poiché più dettagliata, per le facciate laterali, invece, quella creata con il 20 millimetri in quanto architettonicamente meno elaborate e quindi soddisfacenti anche con una risoluzione minore.

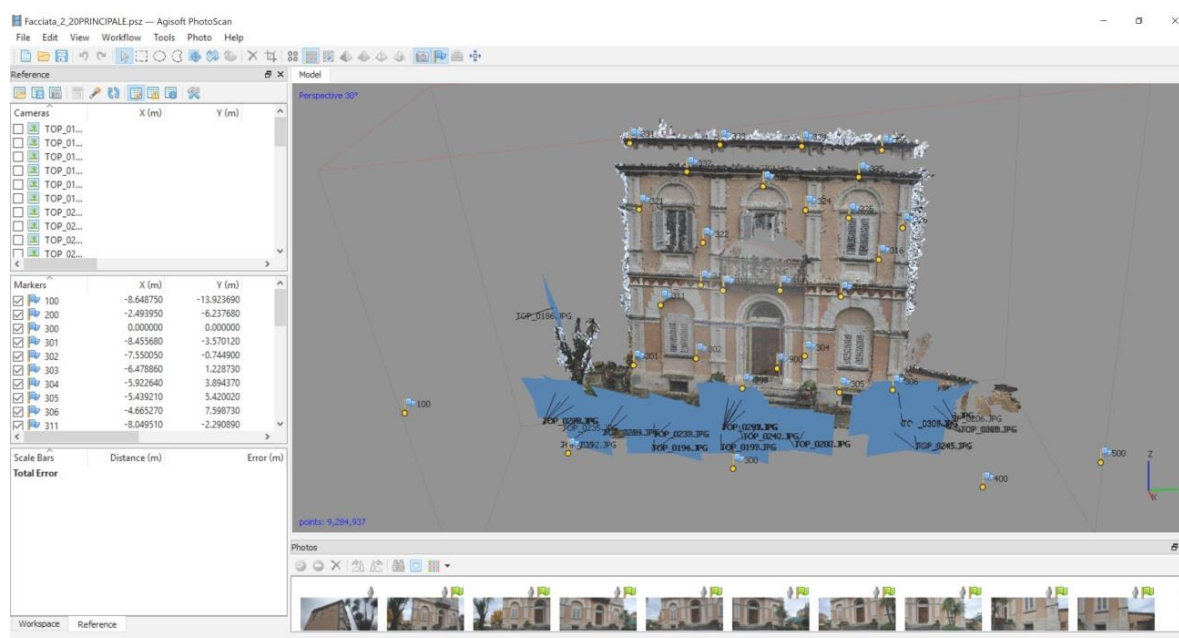


Figura 34- Dense Cloud della facciata principale ottenuta mediante il software Photoscan.

Fatto ciò è stato possibile generare il modello attraverso la creazione della *mesh* (*Build Mesh*).

Successivamente le tre facciate sono state importate nel medesimo file orientandole tra loro e unendole alla *mesh* ottenuta dal *laser scanner*, esportata da Geomagic Design X. A questo punto è stata creata la texture (*Build Texture*) corrispondente ottenendo il modello completo.

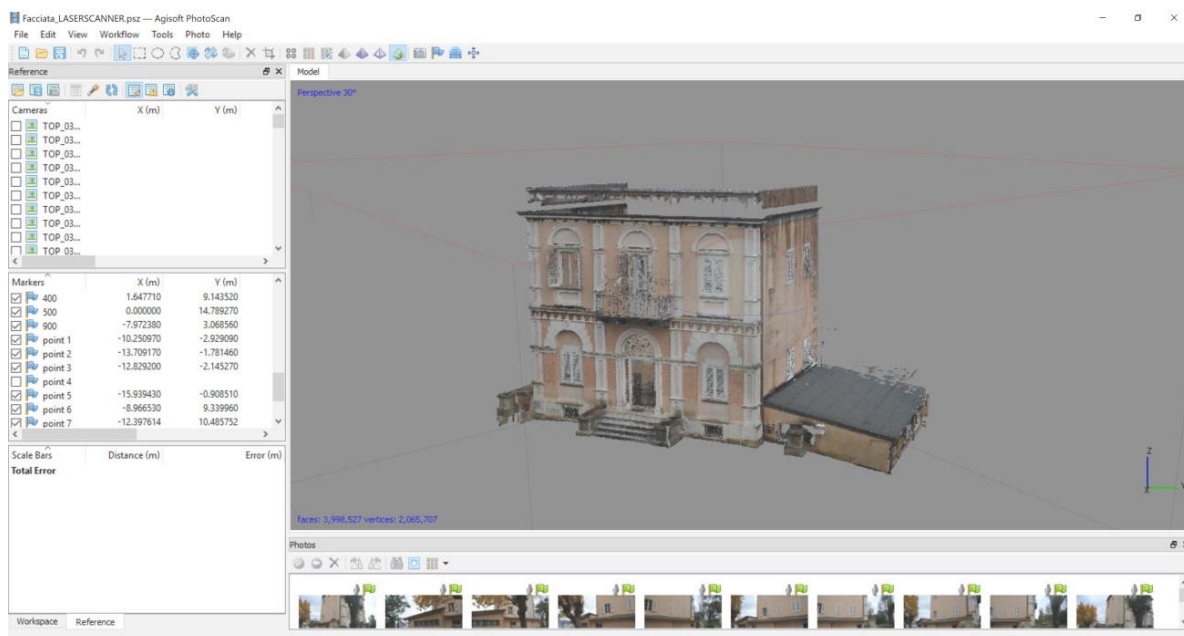


Figura 35-Modello completo ottenuto mediante rilievo laser scanner e fotogrammetria.

3.3.1 Conclusioni

In questo caso studio erano già disponibili elaborati grafici, in quanto in atto un progetto di restauro con metodologia tradizionale. L'utilizzo di tecnologie quali *laser scanner* e fotogrammetria permette però di ottenere nuvole di punti su cui ricostruire gli orizzontamenti e le proporzioni degli elementi di facciata. Il laser scanner ha il vantaggio di essere una tecnologia ormai matura in grado di ottenere una precisione molto alta unita ad una velocità di realizzazione considerevole. Permette di acquisire anche le *textures* degli oggetti. Possono esserci punti critici come costi elevati delle attrezzature e la portabilità delle stesse (anche se le ultime versioni presenti sul mercato offrono delle attrezzature sempre più portatili e poco ingombranti). Inoltre le nuvole di punti possono essere anche particolarmente pesanti da gestire su computer poco potenti. Per quanto riguarda la fotogrammetria, poter utilizzare una fotocamera digitale come strumento di rilievo permette di rendere ancora più semplice e accessibile questa tecnologia ottenendone una realizzazione a basso costo. La precisione che si può raggiungere, ovviamente, è direttamente proporzionale alla risoluzione delle immagini così come alla qualità dello scatto. I risultati di tali metodologie permettono la verifica degli aspetti geometrici

consentendo di superare le incongruenze e le carenze della documentazione esistente e di ottenere, al seguito della modellazione, il materiale 2D aggiornato. Inoltre, come descritto precedentemente, dalla nuvola di punti, generata dagli strumenti di rilievo, è possibile ottenere modelli tridimensionali costituiti da superfici (*mesh*) texturizzate. Un modello complessivo a superfici non può essere considerato BIM in quanto manca la parametrizzazione degli elementi, così come la possibilità di avere attributi da poter gestire correttamente in IFC. Proprio per questo nei paragrafi successivi sarà affrontata questa tematica proponendone una soluzione.

3.4 Elaborazione dei dati

Prima di iniziare la modellazione è stato necessario definire quale software utilizzare tra Autodesk Revit o Archicad. La scelta si è basata essenzialmente sulla capacità di importare all'interno del programma la mesh dell'oggetto texturizzata, ottenuta dal rilievo. Sono state effettuate diverse prove per importare la *texture* all'interno di Autodesk Revit, anche attraverso l'utilizzo di altri software, senza raggiungere alcun risultato positivo. Da Agisoft PhotoScan, infatti, è risultato impossibile importare direttamente in Autodesk Revit il file, se non tramite formato .obj che, però, ha creato diverse problematiche. E' stato utilizzato, quindi, come mediatore, Autodesk Recap, esportando la mesh da Agisoft PhotoScan in .txt, inserendola in Autodesk Recap e da qui esportandola in .rcp, formato importabile in Autodesk Revit. Tutto ciò, però, ha consentito solamente l'importazione della mesh priva di texturizzazione. Altri tentativi hanno condotto al medesimo risultato. Non essendo un risultato accettabile sono state fatte diverse prove utilizzando Archicad.

Tale programma è stato in grado di rispondere alle esigenze in quanto capace di sostenere sia la *mesh* sia la *texture* associata. Salvando la *mesh* da Agisoft PhotoScan in .3ds e l'immagine della *texture* in .jpeg ed importandola in Maxon Cinema 4D per assemblare il tutto, è infatti possibile, salvando nuovamente in .3ds, inserire la *mesh* all'interno del software attraverso Archivio, Interoperabilità, 3D Studio e Importa 3ds come oggetto GDL. La mesh infatti viene inserita all'interno del software come un oggetto di

libreria e quindi può essere implementato attraverso dati. Questo procedimento è stato attuato per inserire elementi singoli di difficile geometria in modo da non perderne la definizione. Ovviamente non può essere esteso ad intere superfici in quanto non sarebbe possibile selezionarne i singoli elementi e quindi non si potrebbe parlare di oggetti parametrici.

AGISOFT PHOTOSCAN	Esportazione nuvola di punti .obj, .ply, .txt, .las, .e57, .u3d, .pdf, .zip, .oc3	Esportazione mesh .3ds, .obj, .wrl, .dae, .ply, .stl, .fbx, .dxf, .v3d, .pdf, .kmz
AUTODESK REVIT	Importazione .rcs, .rcp, .3dd, .asc, .d3, .clr, .e57, .fls, .fws, .ixf, .las, .las84, .mpc, .obj, .pcg, .ptg, .pts, .ptx, .rds, .rep, .rxp	
AUTODESK RECAP360	Importazione .rcs, .fls, .fws, .lsproj, .pts, .ptg, .ptx, .zfs, .zfprj, .las, .xyz, .txt, .d3, .clr, .e57, .rdbx, .rsp, .rcp, .dp, .prj, .pcg, xyb	Esportazione modello .obj, .rcm, .fbx, .ipm Esportazione nuvola .rcs
AUTODESK REMAKE	Importazione .fbx, .obj, .ply, .rcm, .rcp, .stl, .stlb, .stla	Esportazione modello .fbx, .stl, .ply, .xyz, .pts, .obj

Figura 36- Tabella riassuntiva dei formati importabili su Autodesk Revit da software utilizzati per le diverse prove.



Figura 37- Schema riassuntivo sulla capacità di importazione su Revit ed Archicad.

Una volta definito il software da utilizzare sono state individuate le metodologie per la modellazione. Il rilievo è il punto di partenza per la creazione di un modello intelligente in grado di sostenere la gestione degli edifici. Bisogna garantire, però, un'accuratezza nella restituzione 3D e nell'aderenza alle caratteristiche intrinseche dell'oggetto d'architettura che attraverso il modello si vuole gestire. E' stato utile, quindi, sviluppare metodi semplici ma che garantiscano comunque accuratezza, precisione e qualità di rappresentazione coerenti con i dati acquisiti.

Nel caso di modellazione di edifici esistenti possiamo trovare sia forme e geometrie più ricorrenti in edilizia, come muri, travi, pilastri, solai, riconducibili a geometrie semplici, sia elementi a prevalente carattere scultoreo con funzione di decorazione, difficilmente riconducibili a geometrie regolari. Molti elementi e componenti, quindi, non sono presenti nelle librerie di base del software e possono essere modellate sulla base di riflessioni riguardanti la semantica e i vincoli geometrici coerenti con la pratica del costruire. Per questo la fase di modellazione si è svolta in fasi successive. La prima ha riguardato la modellazione degli elementi principali quali murature, solai, aperture e definizione di superfici.

Per quanto riguarda le tipologie murarie i rilievi eseguiti sulle pareti esterne dell'edificio principale fanno supporre che, fino alla quota di 2,40 m da terra, l'edificio utilizzi il muro di cinta dell'antico terrapieno, costituito da muratura mista con orditura caotica. Da tale livello in su, la muratura è in blocchi di calcestruzzo per tutta la lunghezza dell'edificio. Le pareti esterne dei corpi annessi, invece, sono per la maggior parte in laterizi semipieni a due teste.

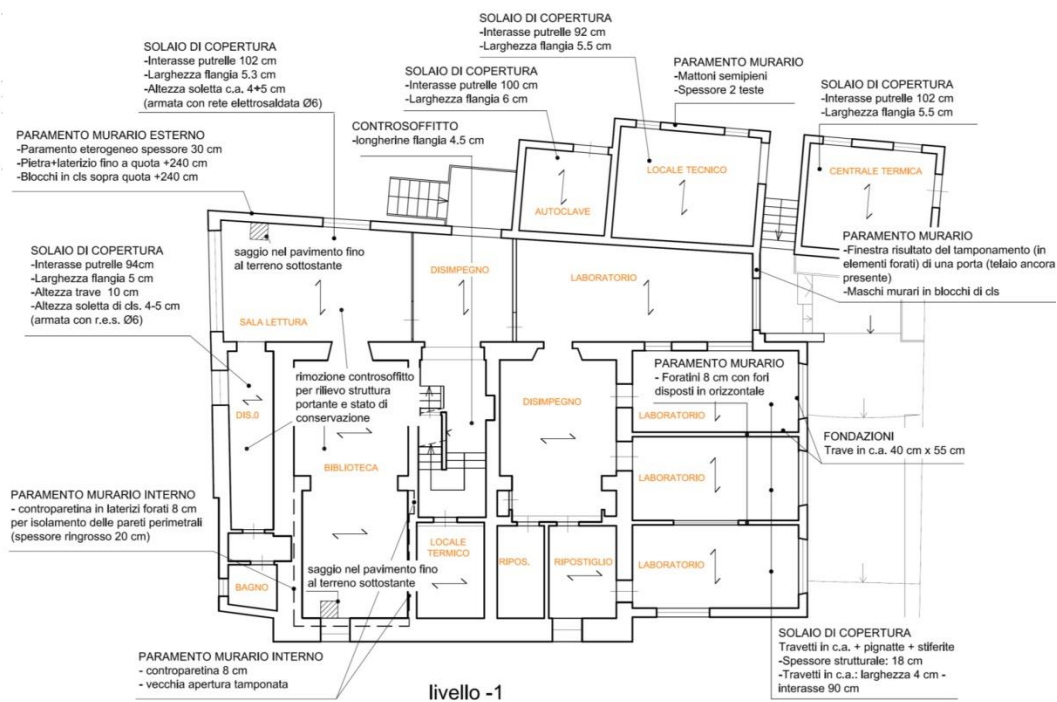


Figura 38- Pianta dei saggi effettuati al piano seminterrato.

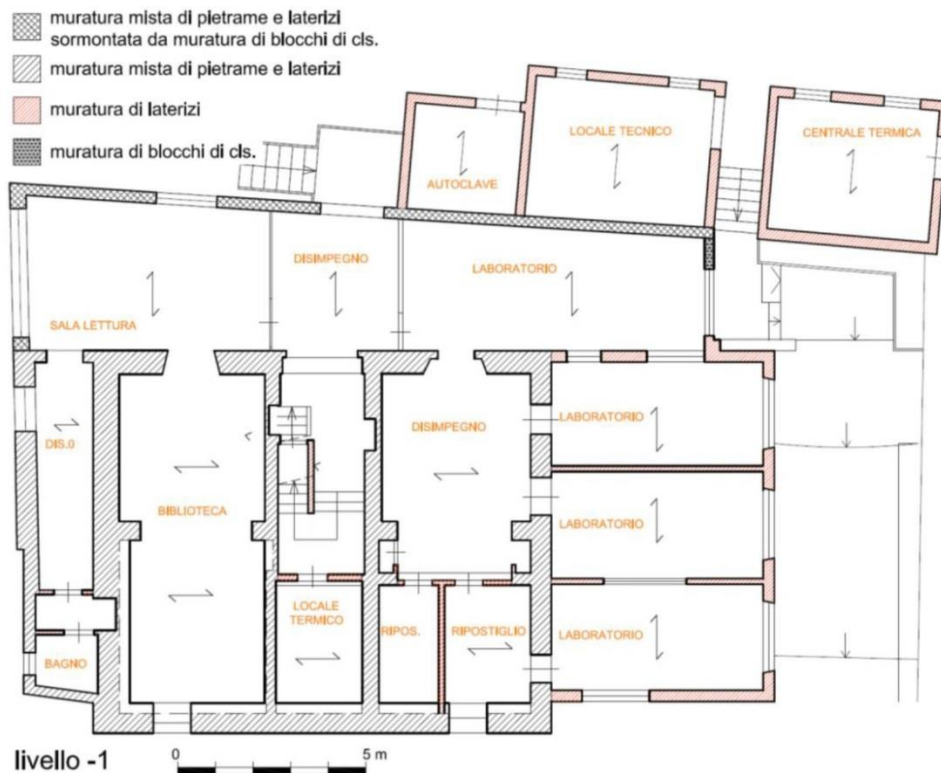


Figura 39- Sezione al piano seminterrato con le tipologie murarie rilevate.

Da qui, affinché la modellazione fosse il più veritiera possibile, sono state definite tre diverse stratigrafie murarie, attraverso il comando strutture composte, una per ogni tipologia sopra definita. Inoltre, poichè all'interno del software Archicad non è possibile adattare automaticamente una stratigrafia ad elementi con spessore differente rispetto a quello definito e trattandosi di un edificio esistente dove, quindi, gli spessori murari differiscono da un oggetto all'altro, è stata creata una variante di spessore per ogni tipologia. In totale, quindi, sono state definite 30 strutture composte.

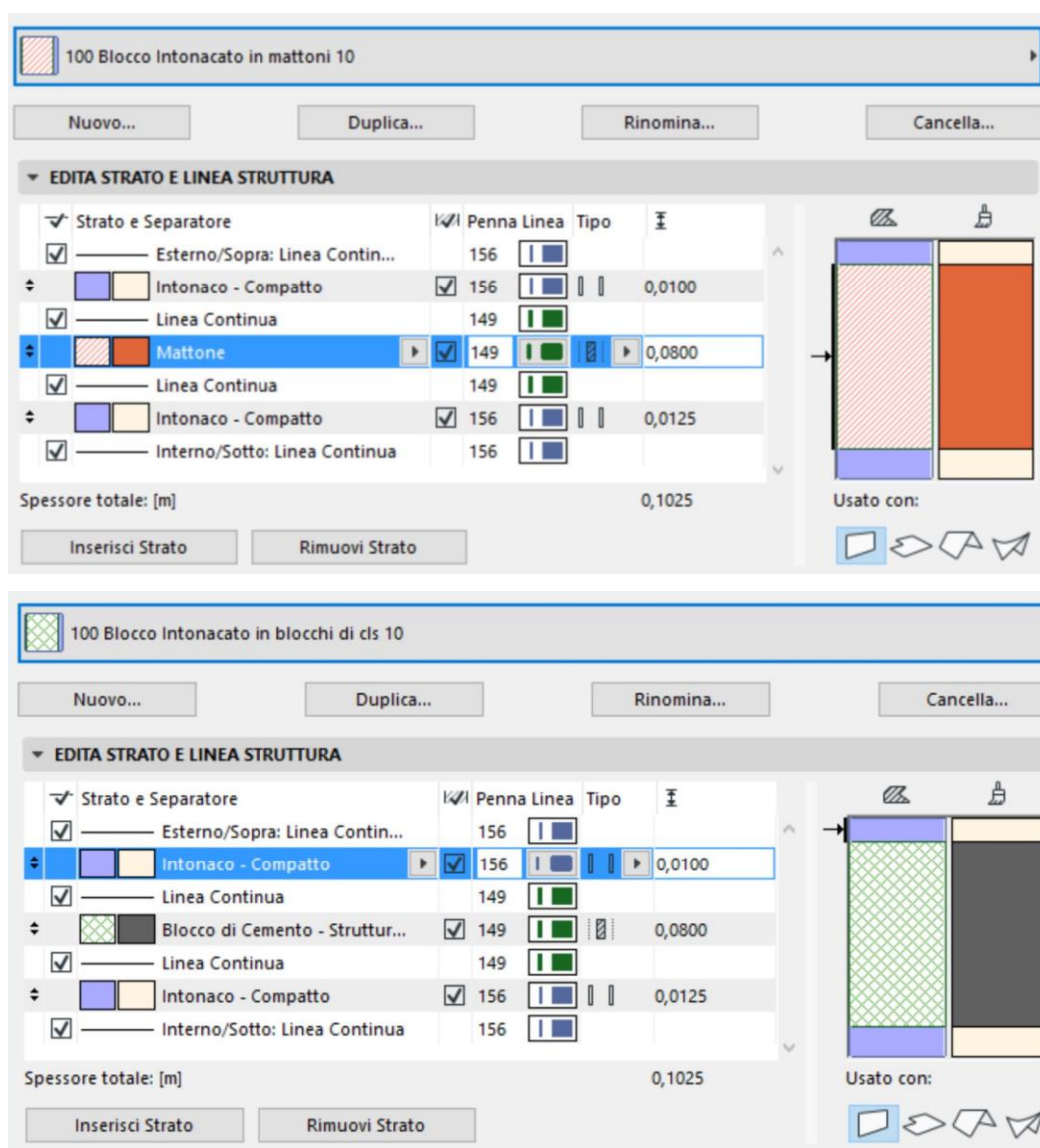


Figura 40- Esempi delle stratigrafie create all'interno del software Archicad per la definizione delle tipologie murarie.

Per quanto riguarda i solai è stato attuato un ragionamento molto simile a quello per le stratigrafie murarie. Relativamente all'edificio principale, i saggi sul solaio a piano terra hanno evidenziato un'orditura principale, degradata, e correnti con luci eccessive e sezioni inadeguate, che hanno necessariamente richiesto la presenza di profilati metallici disposti a rompitrattra o affiancati alle travi principali. Essendo riportata la sezione longitudinale del solaio sulla biblioteca, con le travi principali, i correnti e le travi metalliche IPE 160, è stato possibile definire la stratigrafia del solaio e le dimensioni degli elementi. In ugual modo si è proceduto per le coperture dei corpi aggiunti dove, però, è stata evidenziata la presenza di profilati metallici poggianti sulla muratura dell'edificio principale e sulla muratura esterna dei corpi aggiunti. Essendo riportate le dimensioni delle travi in acciaio e l'interasse è stato possibile riprodurre in maniera dettagliata la stratigrafia della copertura, sempre attraverso il comando “strutture composte”, e inserendo successivamente gli elementi portanti. Infatti per ogni piano oltre alla stratigrafia sono stati inserite tutte le orditure con le apposite dimensioni ed interassi. Anche per la copertura dell'edificio principale è stata attuata la medesima procedura.

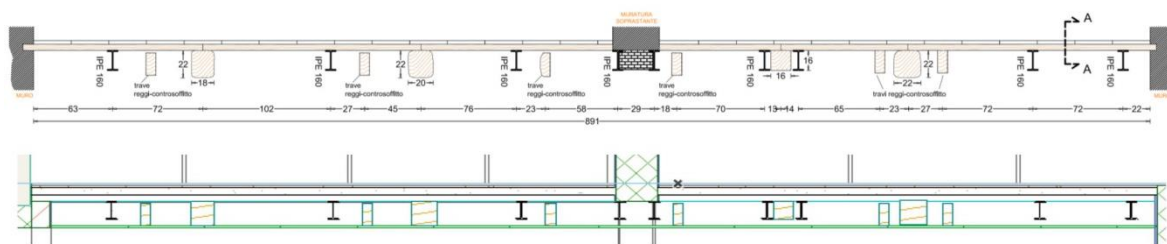


Figura 41- Sezione del solaio della biblioteca ottenuto grazie ai saggi e riportato su Archicad.

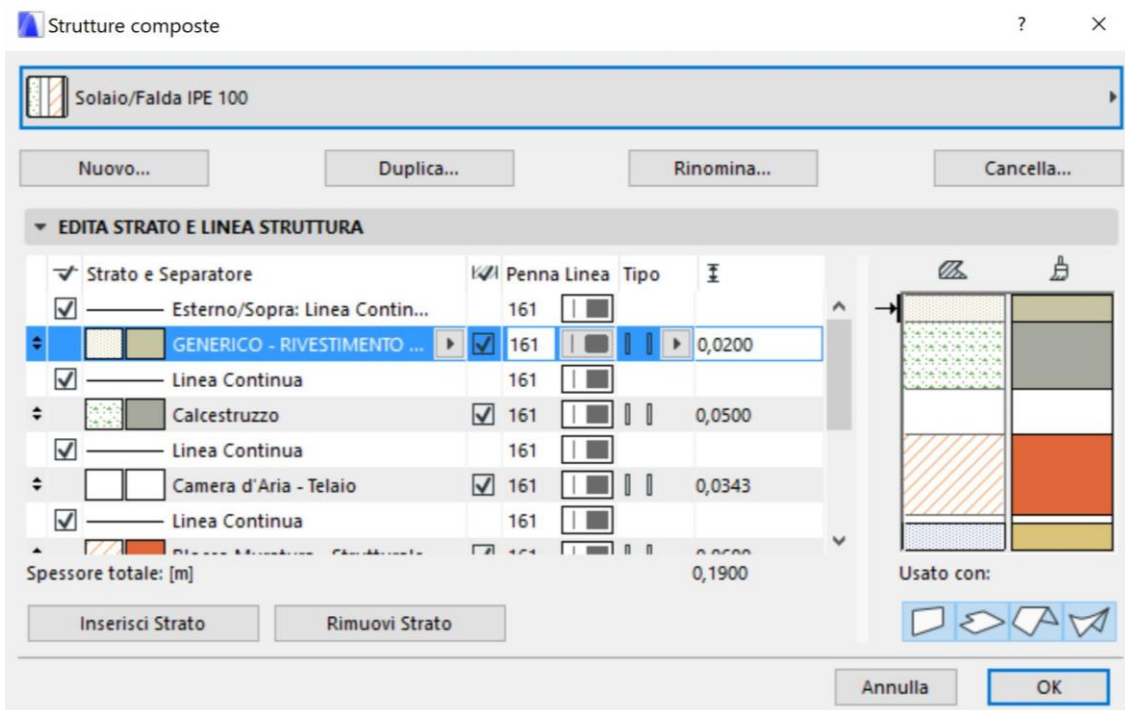
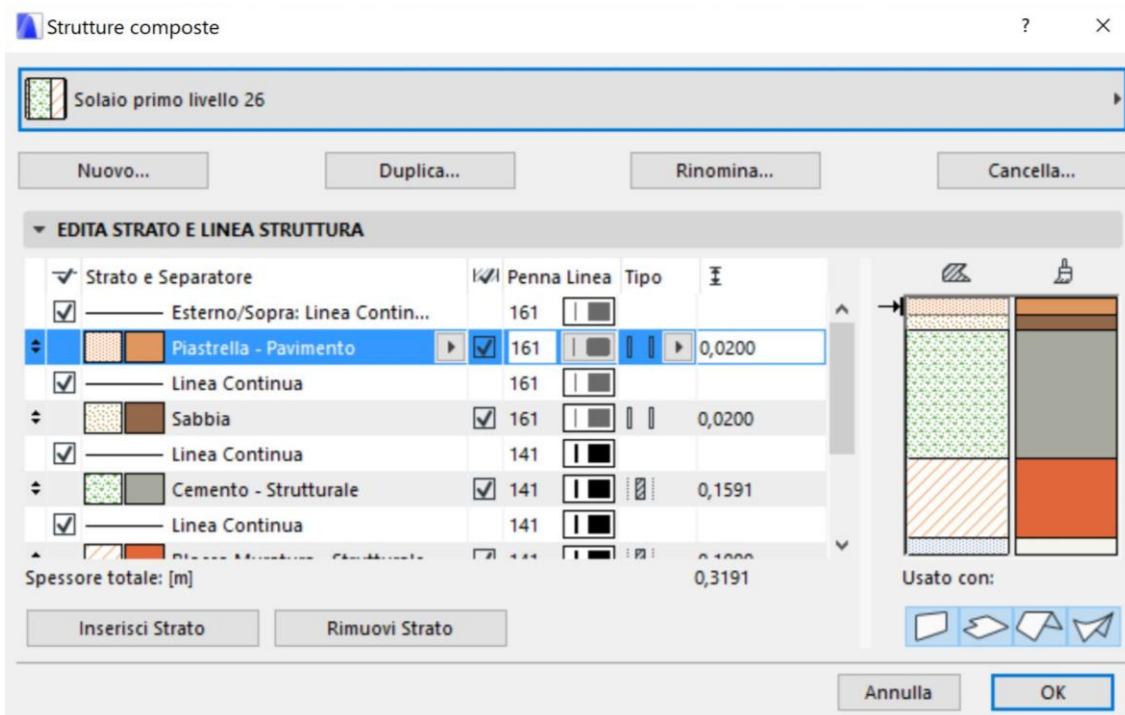


Figura 41- Esempi delle stratigrafie create all'interno del software Archicad per la definizione delle tipologie murarie.

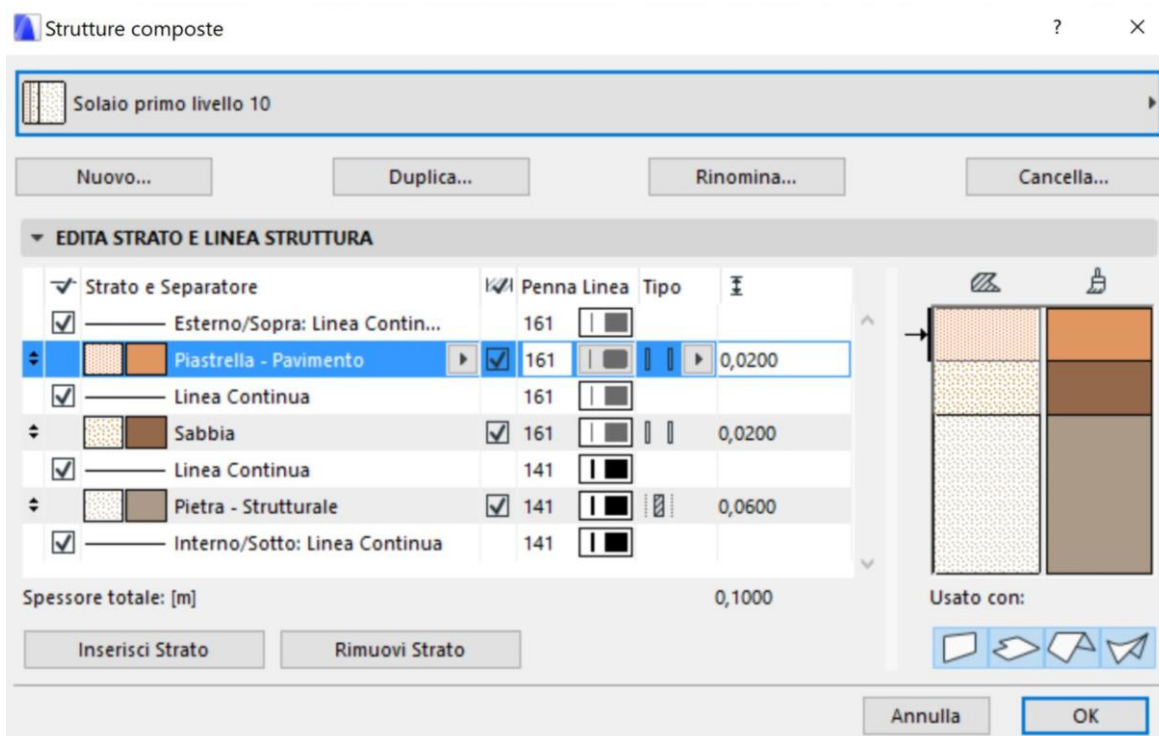


Figura 42- Esempi delle stratigrafie create all'interno del software Archicad per la definizione delle tipologie murarie.

L'inserimento delle aperture, all'interno del software, avviene in modo semplice. Infatti, dopo aver modellato un muro, in automatico vi si può inserire una finestra/porta. Nel programma è presente una vasta libreria di tali elementi che possono essere modificati strutturalmente e geometricamente, a seconda delle nostre esigenze, essendo oggetti parametrici.

Riferendoci ad un edificio esistente ogni elemento è stato creato appositamente andando a variare i settaggi presenti nel "dialogo impostazioni". Dove ciò non è stato possibile, è stata modellata separatamente l'apertura, attraverso l'utilizzo degli "strumenti Design" e salvata come finestra/porta, inserendola in questo modo tra gli oggetti di libreria. Quest'ultimo procedimento è stato attuato soprattutto per la modellazione delle nicchie in quanto l'edificio presentava molti di questi elementi ma con geometrie differenti rispetto a quelle già presenti in libreria e quindi non modificabili attraverso i settaggi.

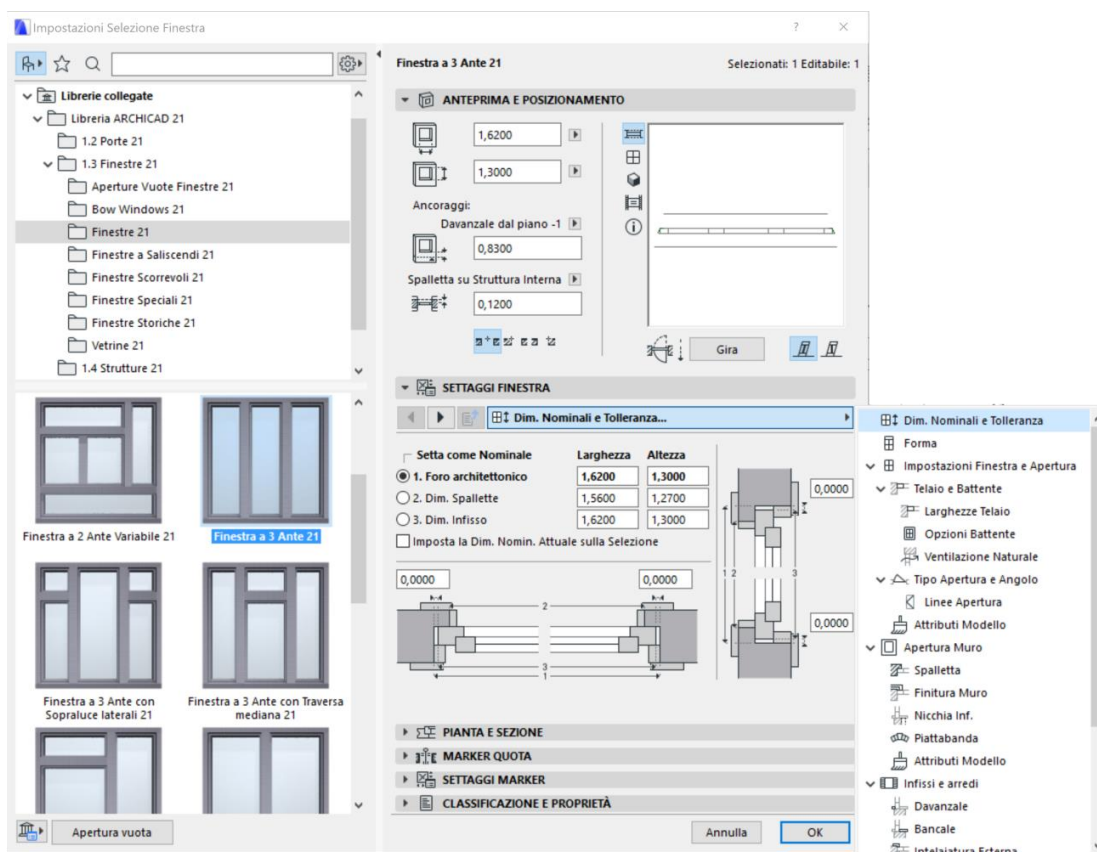


Figura 43- Impostazioni dell'oggetto finestra modificabili all'interno del software.

Affinchè non venissero definiti solamente dettagli strutturali ma anche architettonici sono state create le *texture* dei materiali di superficie come intonaco e pavimentazione. Per quanto riguarda l'intonaco, sono state definite due differenti tonalità cromatiche di rosa, caratterizzanti l'edificio principale, e una di giallo per i corpi annessi. La *texture* è stata ricavata da fotografie scattata alla superficie dell'edificio esistente in modo che risultasse il più verosimile. Per l'intonaco interno, invece, è stato utilizzato un materiale già presente all'interno della libreria in quanto conforme con le reali caratteristiche.

Sono state, invece, creati nove diversi tipi di pavimentazione in quanto al piano terra e al primo piano, ogni vano ne presenta tipologie differenti. Questo perché si è voluto creare un input anche visivo in modo che il modello fosse in grado di riflettere in ogni aspetto l'edificio esistente. Infine ogni superficie è stata associata all'elemento strutturale corrispondente.

Anche le soglie delle aperture sono state tutte definite separatamente in quanto presentavano materiali differenti. La differenziazione delle superfici può essere molto utile per gli interventi di restauro in quanto modellando ogni elemento separatamente al momento dei lavori può essere individuato più rapidamente l'entità dell'intervento.

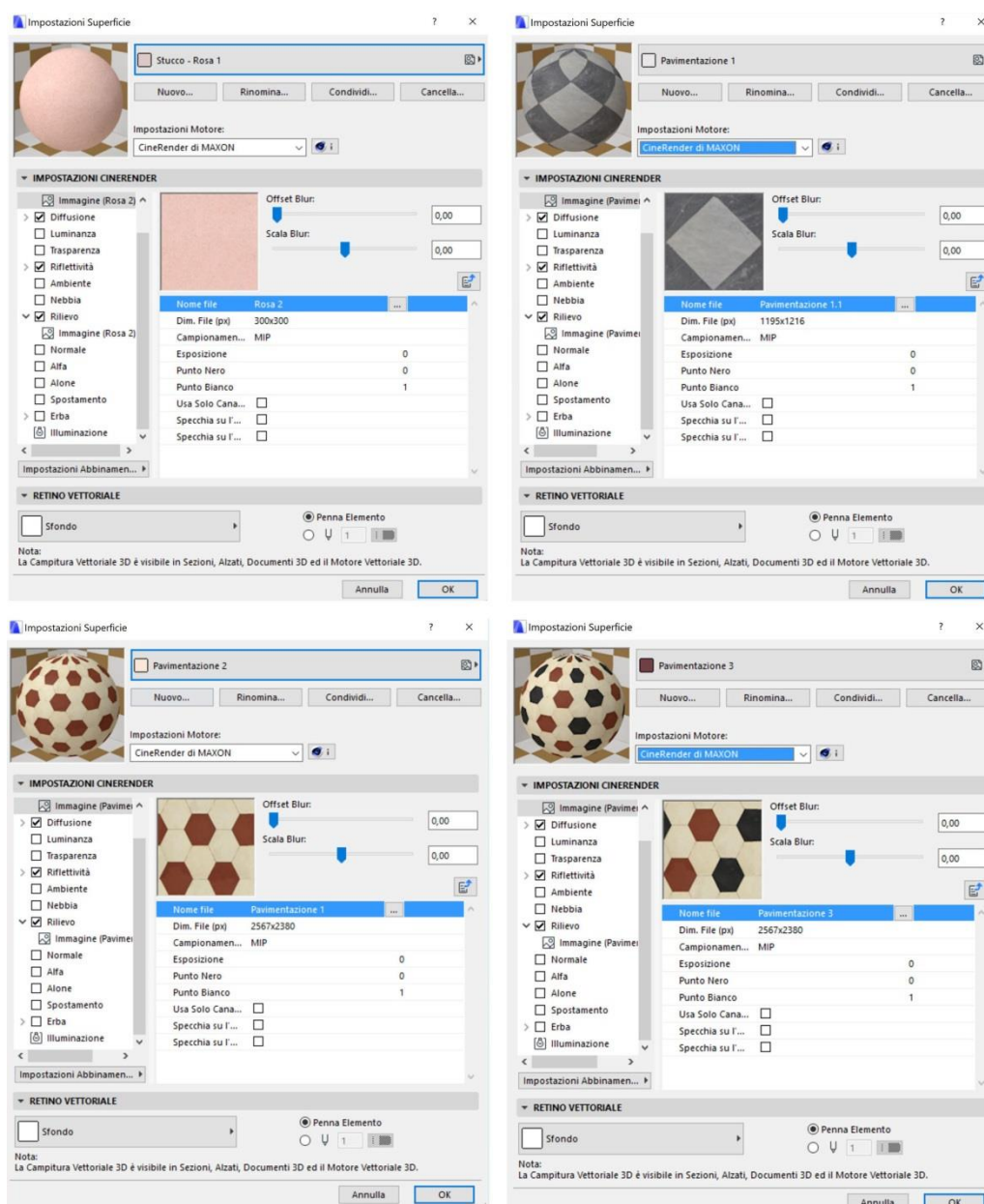


Figura 44- Superficie creata per riprodurre la texture dell'intonaco della facciata principale e delle pavimentazioni.

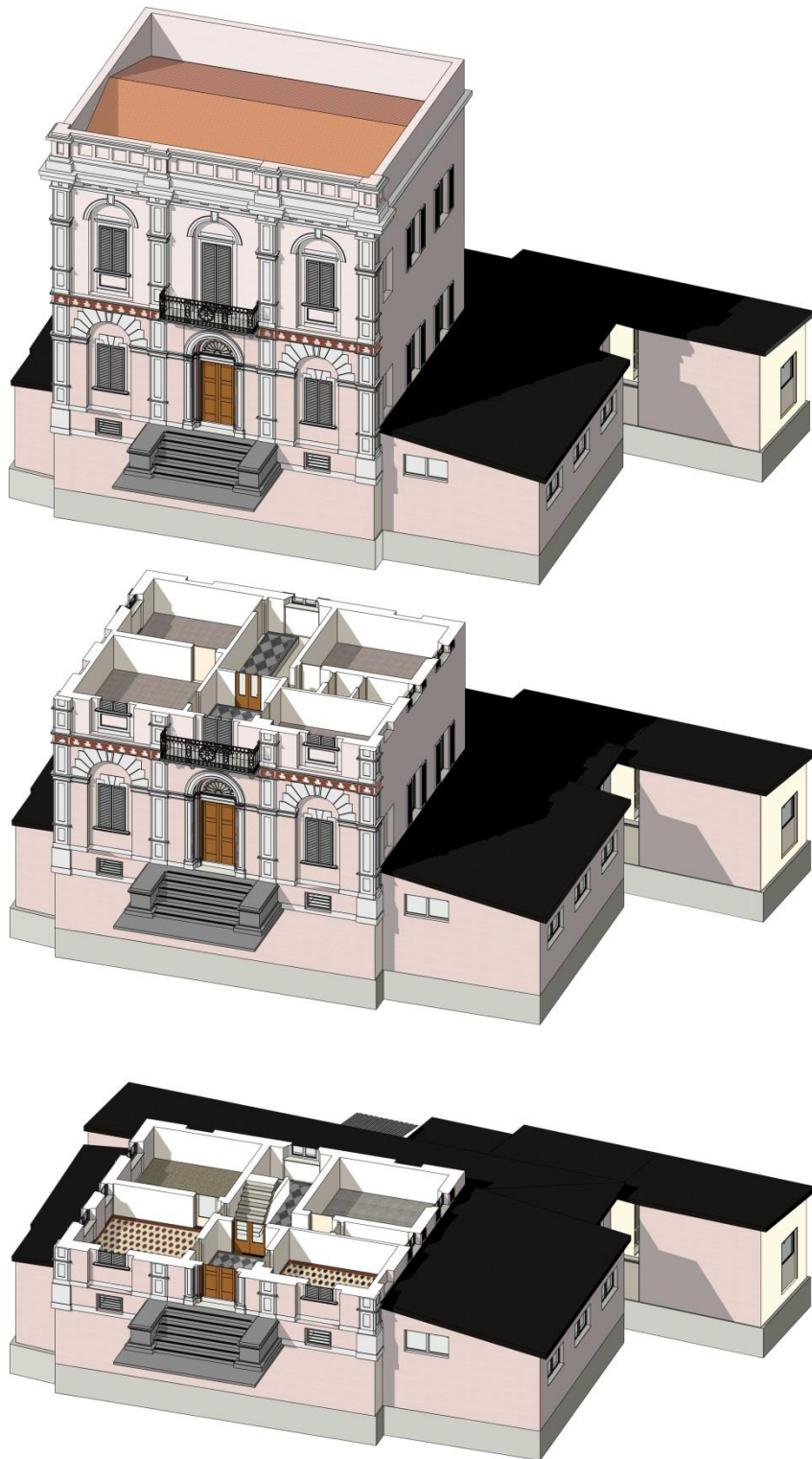


Figura 45- Spaccato in cui sono presenti la texture delle pavimentazioni e dell'intonaco.

Villa Victorine è caratterizzata da apparati decorativi quali modanature e cornici di rifinitura di porte e finestre, non presenti nella libreria base del software. Questi elementi sono stati modellati utilizzando principalmente due metodi: profilo complesso applicato agli elementi travi e modellazione tramite strumenti solaio, muro, poi trasformati in forma e salvati come oggetti di libreria.

Questo metodo permette la realizzazione di elementi, comunque, con un alto livello di precisione geometrica e senza appesantire in maniera eccessiva il modello.

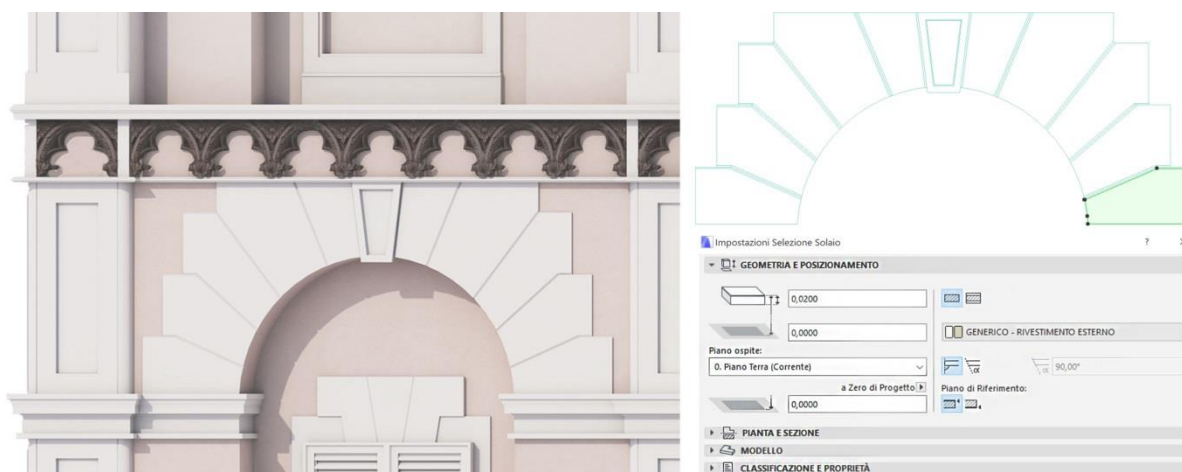


Figura 46- Esempio di modellazione di elementi architettonici attraverso l'uso di strumenti design.

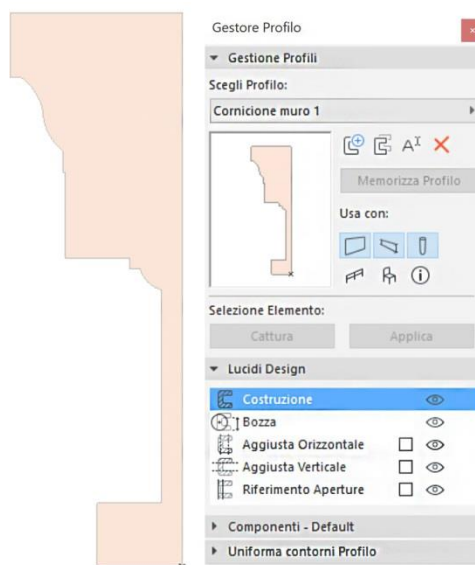


Figura 47- Esempio di modellazione delle modanature definendo un profilo complesso applicato all'elemento trave.

In maniera differente sono state modellate le volte presenti all'interno dell'edificio. La villa, infatti, è costituita da dieci stanze voltate, nove di tipo a schifo a sesto ribassato e una a botte. Volendo rimanere il più possibile fedeli all'esistente e non essendo presenti queste tipologie di elementi all'interno della libreria, è stato necessario eseguire un rilievo, in questo caso fotogrammetrico, in grado di produrre una nuvola di punti di ciascuna volta, poi inserita all'interno del software come oggetto di libreria. L'utilizzo della funzione profiler è risultata la via con minor margine d'errore per la modellazione permettendo, attraverso il disegno del profilo (sezione della volta estratta dalla nuvola di punti) e il percorso (pianta della volta ottenuta dalla nuvola di punti), l'ottenimento del modello. Inoltre, essendo la nuvola di punti costituita da un insieme di punti caratterizzati da valori d'intensità (colore, profondità), è stato possibile visualizzare il motivo degli affreschi all'interno del software.

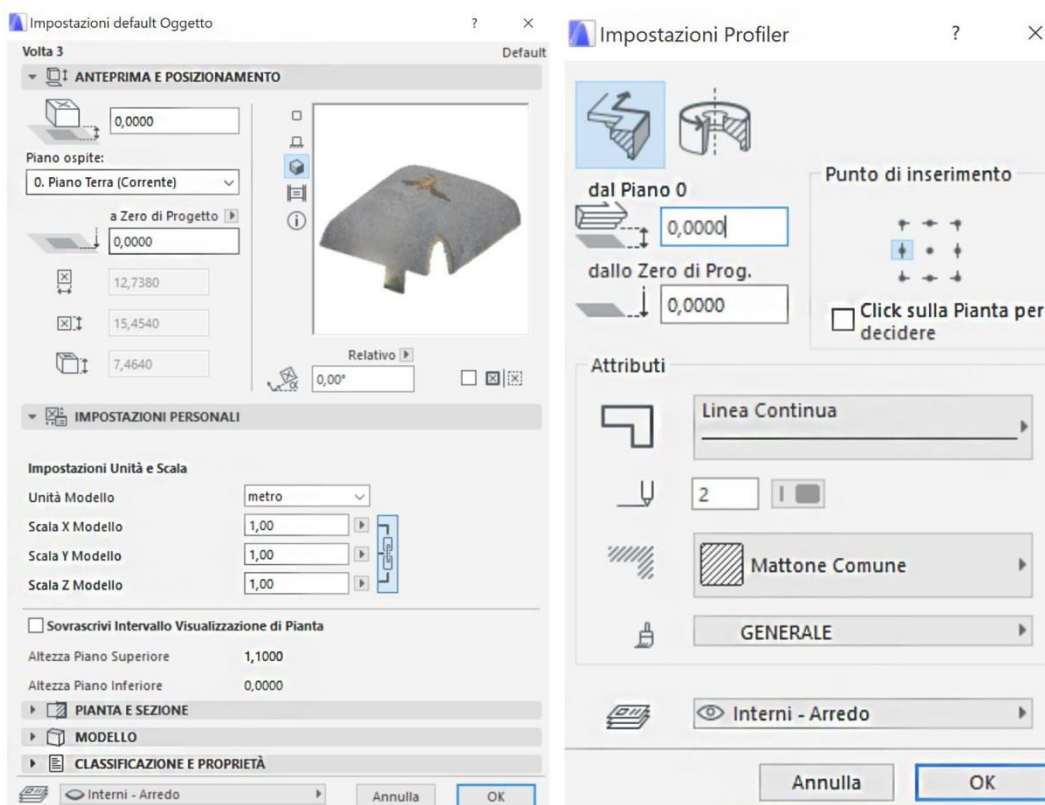


Figura 48- Esempio di importazione e modellazione della nuvola di punti di una delle volte presenti nell'edificio.

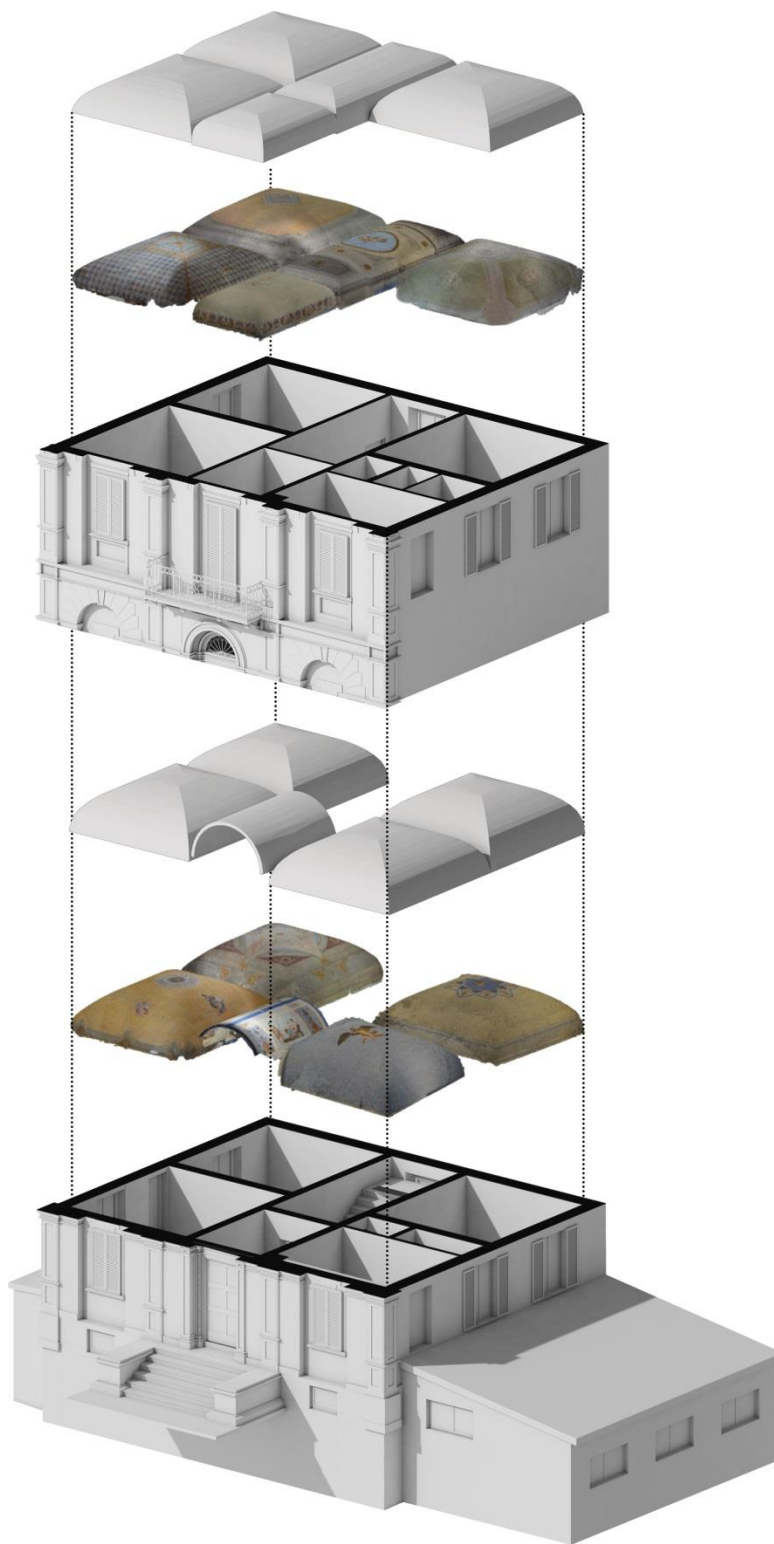


Figura 49- Spaccato di Villa Victorine con nuvola di punti e modello ottenuto delle volte.

Questi metodi di modellazione più “tradizionali” sono stati affiancati da una metodologia ancora in via di sviluppo, ovvero l’importazione di oggetti creando delle *mesh* dalla nuvola di punti. Questo perché la facciata principale contiene molti apparati decorativi dalla geometria complessa, difficilmente modellabili in modo accurato all’interno del software. Per non limitarsi a modelli semplificati è stato deciso, quindi, di adottare tale metodologia creando una *mesh* di tali elementi, attraverso la fotogrammetria, e di importarla direttamente all’interno del software come oggetto di libreria texturizzato. La *mesh* è stata ottenuta mediante il procedimento descritto nel capitolo riguardante l’acquisizione dei dati. Questo procedimento è stato eseguito principalmente su tre elementi: il marcapiano, la mensola di sostegno del balcone e la porta.



Figura 50- Mesh degli elementi importati all’interno del software.

All’interno del modello tali elementi non hanno una visualizzazione totalmente realistica in quanto l’oggetto appare con una colorazione molto scura e quindi la *texture* non è visibile. Una volta eseguito il FotoRender, però, è possibile osservare l’elemento completo anche di *texture*.

Se per i primi due elementi l'importazione è risultata relativamente immediata per il terzo le dimensioni e la complessità dell'elemento hanno reso difficoltosa la procedura. Infatti la *mesh* creata all'interno di Agisoft PhotoScan è risultata troppo articolata e quindi non gestibile all'interno del software. E' stata semplificata più volte ma ad un maggior alleggerimento ha corrisposto una perdita di dettaglio sulla geometria. Non essendo quindi una soluzione adeguata è stato deciso di modellare con i metodi precedentemente applicati per gli apparati decorativi ma in un file separato da quello originario, in quanto elemento complesso e difficile da gestire insieme al modello totale, e successivamente introdotto all'interno del progetto come oggetto di libreria. Il lavoro sulla *mesh*, comunque, è stato inserito all'interno del progetto come informazione dell'elemento porta, rendendone quindi visibile la reale geometria.



Figura 51- Mesh del portale d'ingresso ottenuta mediante PhotoScan.

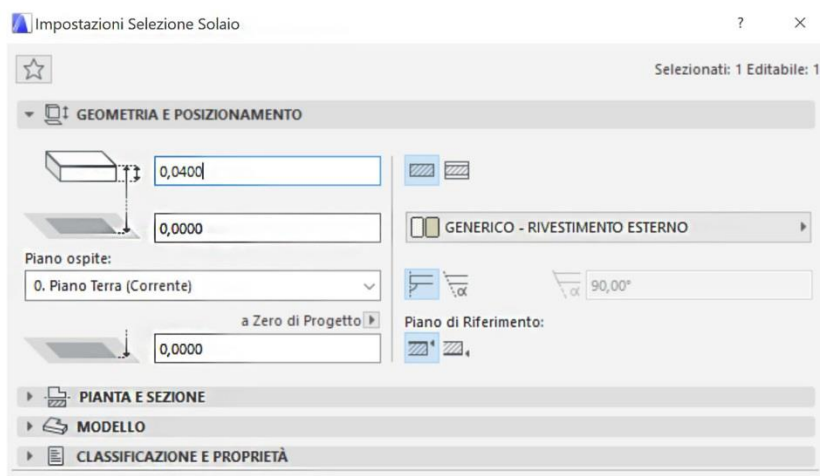
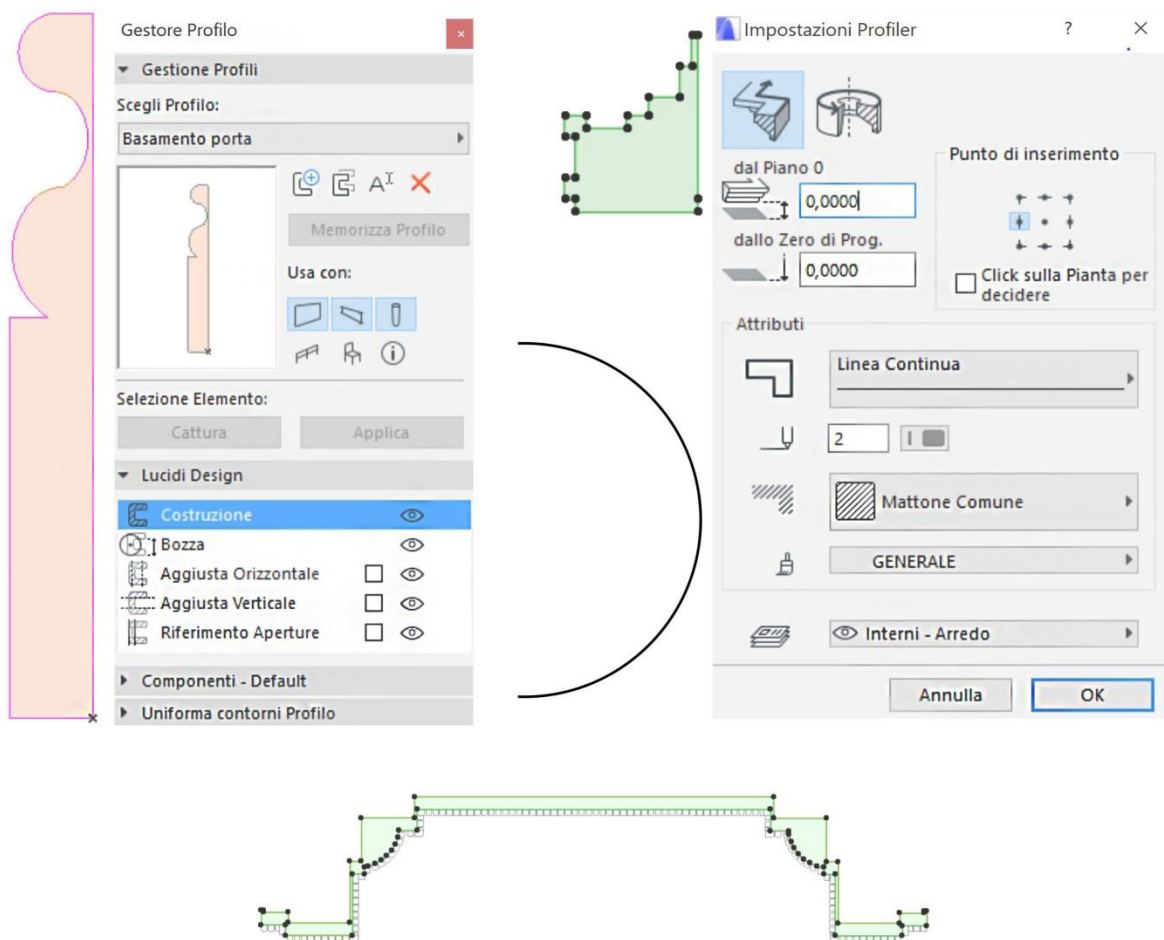


Figura 52- Esempio di strumenti utilizzati per la modellazione del portale d'ingresso.



Figura 53- FotoRender del portale d'ingresso.

3.4.1 Conclusioni

L'utilizzo della modellazione attraverso strumenti design produce elementi geometricamente meno dettagliati rispetto a quelli ottenuti attraverso l'utilizzo di *mesh*, ma comunque accettabili poichè presentano una geometria meno complessa e quindi modellabile all'interno del software. Infatti l'utilizzo della *mesh* garantisce un livello di accuratezza e precisione elevato degli elementi più complessi, in quanto crea direttamente un oggetto da importare all'interno del modello. Questa metodologia è innovativa poichè è un'alternativa molto valida all'utilizzo della nuvola di punti che, invece, rappresenta solamente una guida alla modellazione. Ovviamente, come tutti gli argomenti in via di sviluppo, porta con sé delle problematiche.

Per elementi di geometria molto complessa la *mesh* ha bisogno di essere opportunamente semplificata in quanto il programma non riesce a supportare un numero

elevato di poligoni. La semplificazione però porta ad una perdita di accuratezza geometrica e quindi in molti casi non è opportuno alleggerire il file in quanto non manterrebbe un dettaglio elevato. Nel caso in cui questo si verifica è però possibile creare un file contenente unicamente la *mesh* o l'oggetto accuratamente modellato e associarlo al progetto base.

3.5 Modello HBIM

Il modello geometrico, ottenuto attraverso il rilievo ed elaborazione dei dati, costituisce “l'indice dei contenuti” consultabile e implementabile. L'utilizzo del modello BIM non è da vedere come una semplice rappresentazione grafica ma come una vera e propria banca dati che possa essere utilizzata in maniera interoperabile tra i diversi utenti.

Ogni elemento può essere arricchito di informazioni di ogni genere rendendo innovativa anche la “semplice” creazione di elaborati 2D in quanto i dati inseriti permettono di ottenere elaborati 2D tematici a seconda delle proprie esigenze.

Per gli interventi di restauro questo risulta molto utile in quanto acquista grande importanza la voce “stato di ristrutturazione”, all'interno delle proprietà dell'elemento, in quanto permette di generare il demolito e costruito dell'edificio. Ciò accade grazie ai filtri ristrutturazione (pianta esistente, pianta demolizione, dopo la demolizione, nuova costruzione e stato pianificato) già presenti all'interno del software. Inoltre, riferendoci al caso studio, poichè i solai presentavano due diverse tipologie di intervento, ovvero una riguardante solaio e pavimentazione e una solo pavimentazione, è stata creata una sovrascrittura personalizzata per evidenziare in modo differente tali elementi. Questa combinazione ha permesso di ottenere degli elaborati 2D completi di tutti gli interventi e sempre aggiornati in quanto ogni modifica si riflette automaticamente su tutti gli elaborati.

Inoltre una conoscenza puntuale ed aggiornata degli spazi, dalla loro destinazione d'uso, degli occupanti e delle Unità Organizzative di afferenza costituisce un'opportunità per generare ottimizzazioni ed impostare processi in base alle reali esigenze. I parametri inseriti possono poi essere utilizzati per realizzare tematizzazioni grafiche ,ad esempio, la ripartizione degli spazi tra diverse organizzazioni. Ciò può essere ottenuto mediante lo strumento zona, il quale elabora i dati già inseriti all'interno del modello in modo da ricavarne informazioni che tradizionalmente impiegherebbero molto tempo come la

percentuale di area netta/lorda, la percentuale di area netta/utilizzabile, percentuale di utilizzo dello spazio, metri quadri e metri cubi, numero di occupanti e postazione di lavoro, numero di attrezzature e il loro posizionamento.

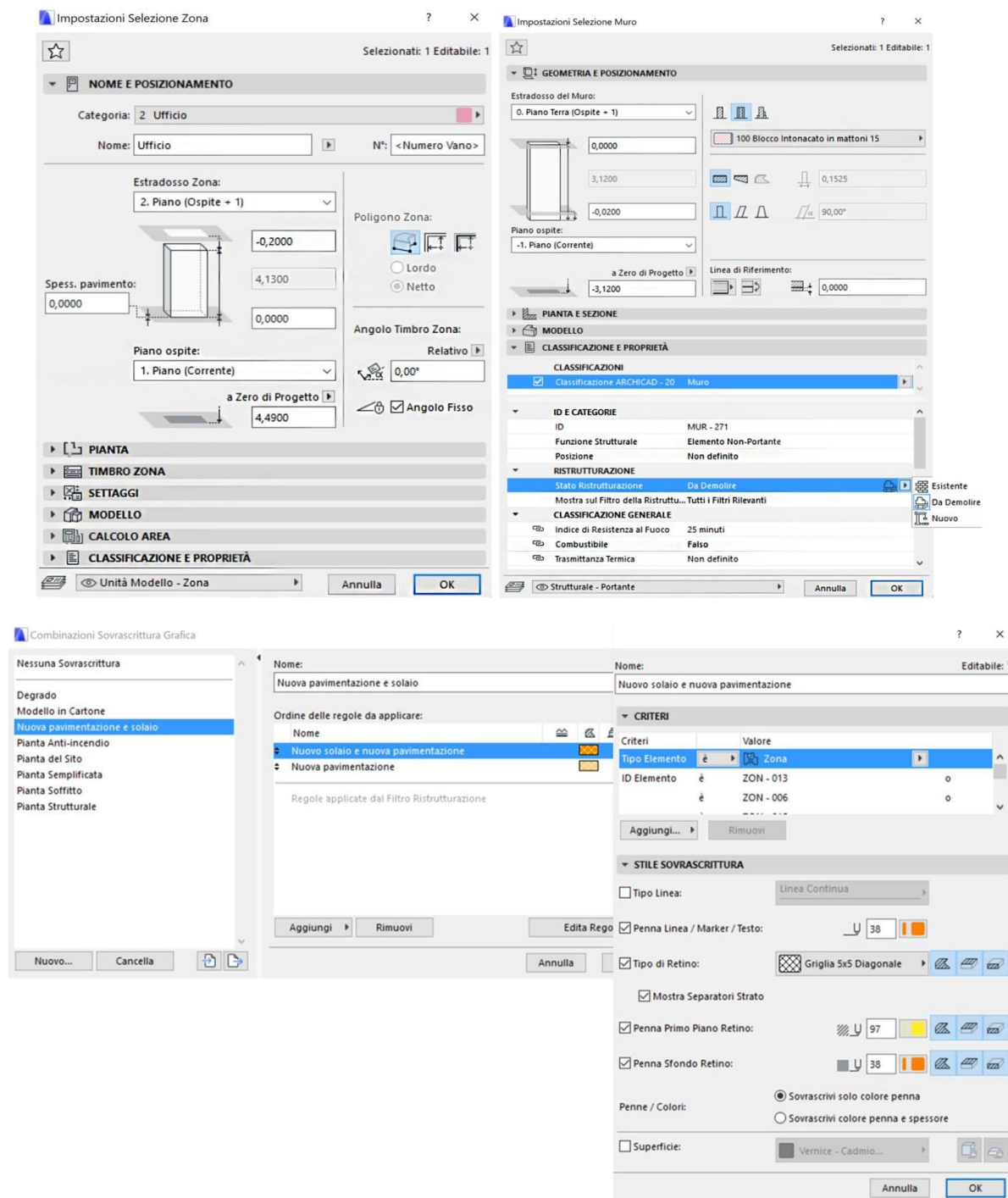


Figura 54- Impostazioni della sezione zona e sovrascrittura grafica editata per il demolito/costruito.



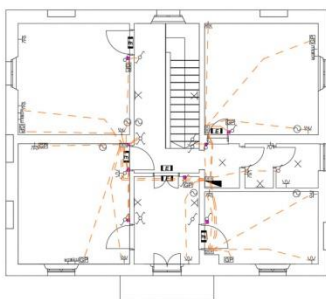
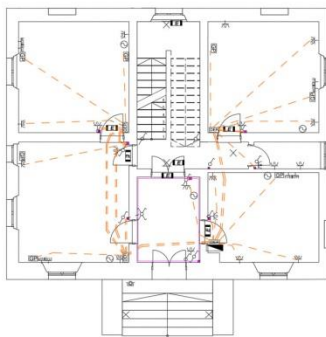
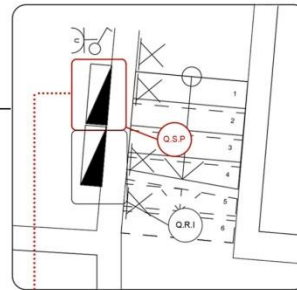
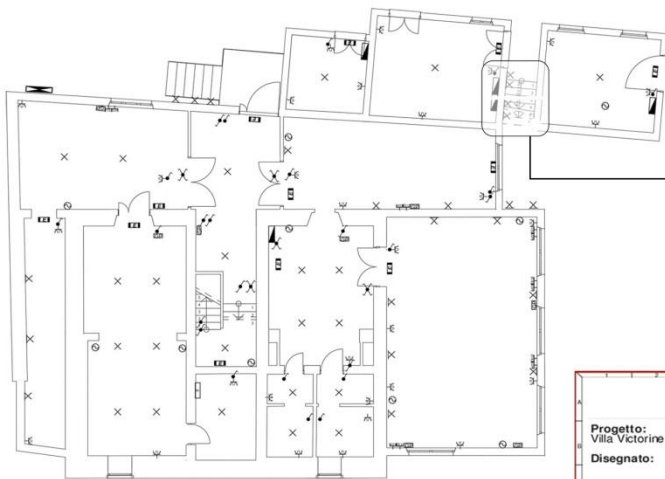
Figura 55- Pianta dello stato esistente, demolito/costruito e Stato pianificato create con il software Archicad.

All'interno del caso studio è stato analizzato attraverso elaborati 2D il lato impiantistico. Tale argomento non è stato trattato nella sua completezza ma è stata comunque creata una metodologia applicativa estendibile a tutte le tipologie d'impianto, esemplificandola su quello elettrico. All'interno del software l'impianto non è stato trattato attraverso elementi tridimensionali ma con un approccio bidimensionale implementando ogni elemento con le informazioni necessarie, caratteristica essenziale di un progetto BIM, e allegando documenti relativi al modello e al fornitore. Questo perché un progetto BIM non è solamente un modello 3D, o comunque questa non è la sua caratteristica principale, in quanto la cosa essenziale è che ogni oggetto includa delle proprietà che vadano oltre la semplice rappresentazione grafica e che siano funzionali alla sua descrizione, in relazione all'obiettivo per cui viene inserito nel modello³⁸.

Inoltre essendo i vari elementi posizionati ad altezze differenti, ma non percepibile all'interno del software in quanto bidimensionale, sono stati creati 6 appositi lucidi in base alle altezze in modo da raggruppare i diversi oggetti. La metodologia applicata in questo caso all'impianto elettrico può essere estesa a tutte le tipologie di impianti. Inoltre può essere sempre implementata con informazioni o con una modellazione di tipo tridimensionale dando così la possibilità di eseguire le clash detection.

³⁸ *BIM: anche il progetto con elementi in 2D è corretto*, Ingenio, 2017.

http://www.ingenio-web.it/Notizia/9657/BIM:_anche_il_progetto_con_elementi_in_2D_e_corretto_e_completo.html



Legenda

- Interruttore
- Deviatore
- Invertitore
- Presa comandata
- Presa Unel P40
- Presa bipasso 10/16
- Presa telefonica
- Presa rete-dati
- Punto luce a soffitto
- Punto luce a parete
- Uscita condutture volanti
- Gruppo prese (B+B+U)
- Quadro elettrico
- Senever
- Lampada emergenza autonoma
- Pulsante di sgancio acc. protetto

Progetto: Villa Victorine		Disegnato:	
Coordinato:		N° di Disegno:	
Quadro: 3 - QUADRO SALA POMPE		Tensione di esercizio: 400 / 230 V	
PI degli apparecchi modulari: CEI EN 60696		Icc massima ai morsetti di entra 1,135 kA	
Data: 28/01/2017		Pagina: 14	
Descrizione linea		ALIM. POMPE	
Fasi della linea		L1 L2 L3	
Potenza totale		13,000 kW	
Corrente di impiego I_n [A]		20,87	
Corrente nominale I_n [A]		25,00	
Lunghezza linea a valle [m]		1,0	
Tipo cavo		Unip. con gu...	
Isolante		PVC	
Sezione fase [mm²]		2,5	
Portata fase [A]		26,00	
Sezione neutro [mm²]		2,5	
C.d.T. linea / C.d.T. totale		0,07 / 1,32	
Icc max inizio linea [kA]		1,14	
Descrizione Articolo		Interruttore D.II. Polo 4P 4M 25A AC	
Codice articolo		GWD4102	
Potenza di interruzione Icn [kA]			
Modulo differenziale			
IdR [A] / TdR [s]		0,03 / 0,0	
Backup [kA]			

Scheda Tecnica Prodotto
GWD4102
 Serie 90 RCDO

Descrizione
 Interruttore DIFFERENZIALE
 Sigla IDP
 N. poli 4P
 N. moduli 4
 Corrente nominale 25 A
 Corrente differenziale nominale 30 mA
 Tipo AC
 Tensione nominale 400 V

Norma di riferimento	EN 61008-1/ IEC 61008-1/ EN 61008-2-1/ IEC 61008-2-1	Frequenza nominale (Hz)	50 Hz
Tensione di isolamento	300 V	Tensione nominale di tenuta ad impulso	4 kV
Categoria di sovratensione	III	Livello di immunità (onda 8/20µs)	250 A
Sezione cavo rigido	Max 35 mm²	Sezione cavo flessibile	Max 25 mm²
Coppia nominale di serraggio	3 Nm	Bloccaggio	SI (morsetti superiori e inferiori)
Temperatura di impiego	-25 +55 °C	Temperatura di stoccaggio	-40 +70 °C
Numero di manovre elastiche	≥ 10000	Numero di manovre meccaniche	≥ 20000
Compatibilità con ausiliari elettrici	SI	Compatibilità con ResStart	SI

DIMENSIONALE

SCHEMA ELETTRICO

4P - 4 MODULI

MARCHI/APPROVAZIONI

GEWISS S.p.A. Via A. Volta, 1
 24069 Canate Sotto - Bergamo - Italy
 tel. +39 035 94 61 11 fax +39 035 94 69 09
www.gewiss.com
sal@gewiss.com
 aggiornamento del 09/09/2017

Dati, misure, disegni e foto sono riportati a titolo informativo, essendo possibile la loro modifica senza alcun preavviso

Per quanto riguarda l'interfaccia tridimensionale, questa facilita la comprensione dell'edificio e rende evidenti le relazioni spaziali e funzionali nell'ambito di geometrie complesse ed articolate, quali in particolare quelle del patrimonio storico. Permette, inoltre, valutazioni in termini di superficie e volumetria utili per la programmazione e gestione degli interventi. In quest'ottica è risultata interessante strutturare l'analisi del degrado. Per fare ciò sono state inserite all'interno della classificazione generale degli oggetti le voci riguardanti "tipologia di degrado" e "restauro superfici", compilabili attraverso un menù a tendina. Inoltre è stata creata una sovrascrittura grafica relativa, in modo da evidenziare con cromie differenti le diverse tipologie di degrado. Questo procedimento è stato applicato direttamente sugli oggetti presenti nel modello invece per le murature il procedimento è stato più laborioso in quanto la superficie non presentava forme di degrado distinte ed uniformi. Per questo dalla nuvola di punti sono state definite le aree con diverse tipologie di degrado e vi è stata creata una superficie, attraverso l'elemento solaio, tale da delinearla anche tridimensionalmente. Questo ha permesso di misurare quantitativamente la dimensione dell'intervento da realizzare.

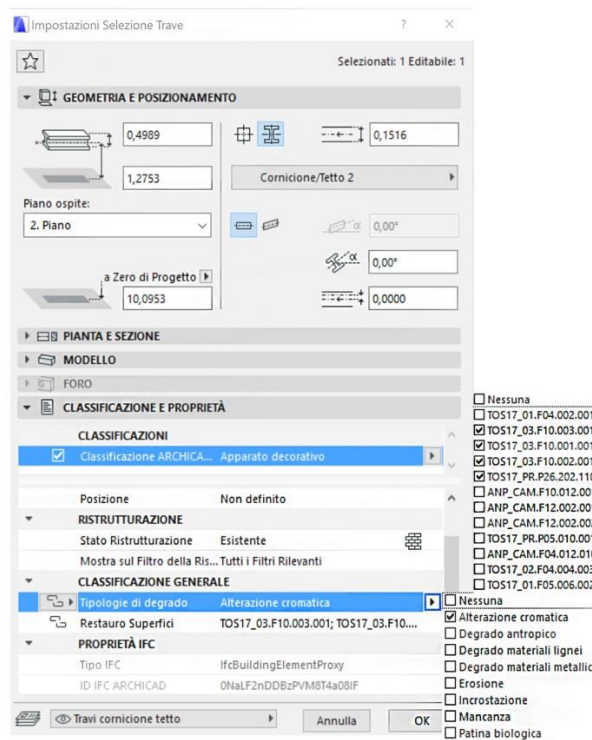


Figura 56- Schermata della classificazione generale di un elemento trave al quale sono state aggiunte le voci "Tipologia di degrado" e "Restauro superfici"



TIPOLOGIE DI DEGRADO			
ALTERAZIONE CROMATICA Alterazione che si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta, chiarezza, saturazione. Può manifestarsi con morfologie diverse a seconda delle condizioni e può riferirsi a zone ampie o localizzate.	DEGRADO MATERIALI LIGNEI Alterazione che si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta, chiarezza, saturazione. Può manifestarsi con morfologie diverse a seconda delle condizioni e può riferirsi a zone ampie o localizzate.	DEGRADO MATERIALI METALLICI Alterazione che si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta, chiarezza, saturazione. Può manifestarsi con morfologie diverse a seconda delle condizioni e può riferirsi a zone ampie o localizzate.	EROSIONE Asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa.
ESEMPLO	INDIVIDUAZIONE CROMATICA	ESEMPLO	INDIVIDUAZIONE CROMATICA
INCROSTAZIONE Deposito stratiforme, compatto e generalmente aderente al substrato, composto da sostanze inorganiche o da strutture di natura biologica.	MANCANZA Caduta e perdita di parti. Il termine si usa quando tale forma di degradazione non è descrivibile con altre voci del lessico.	PATINA BIOLOGICA Strato sottile, morbido ed omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile per lo più verde. Costituito prevalentemente da microrganismi che possono aderire polvere, faticio etc.	DEGRADO ANTROPICO Ogni forma di alterazione o modificazione dello stato di conservazione di un bene culturale o del contesto in cui esso è inserito quando questa azione è indotta dall'uso improprio.
ESEMPLO	INDIVIDUAZIONE CROMATICA	ESEMPLO	INDIVIDUAZIONE CROMATICA

RESTAURO SUPERFICIE

TOS17_01.F04.002.001 Preparazione di fondo da l'integrazione mediante raschiatura, scaravelatura e riprese di piccoli tratti di intonaco.	TOS17_FR.P26.202.110 Consolidanti, adesivi e protettivi impiegati nelle opere di restauro. Consolidanti per materiali lapidei, mattoni, intonaci degradati, pronti all'uso a base di Silicato di Etile in soluzione.	TOS17_FR.P05.010.001 Coloritura a "buon fresco" mediante una mano di latte di calce e campitura a bianco, successiva distesa di almeno quattro mani di pittura a base di bianco di calce con colori minerali su intonaco esterno.	TOS17_01.F05.006.003 Finitura e posa in opera di lampioni normali eccetto alla copertura quali converse-scolabaine con giunte rivettate e sigilate; in rame spesse 8/10 cm.
TOS17_03.F10.003.001 Pittura di intonaco su superfici piane e/o curve, orizzontali o verticali, interne o esterne mediante rimozione di depositi superficiali incoerenti a secco per mezzo di pennelli.	ANP_CAM.F10.012.001 Coloritura a "buon fresco" mediante una mano di latte di calce e campitura a bianco, successiva distesa di almeno quattro mani di pittura a base di bianco di calce con colori minerali su intonaco esterno.	TOS17_02.F04.004.003 Substruttura a secco con sabbo all'oca ad alta compressa, escluso allontanamento del materiale di risulta per asportazione di ruggine da opere in ferro.	
TOS17_03.F10.001.001 Disinfestazione di intonaco su superfici piane e/o curve, orizzontali o verticali, interne o esterne mediante rimozione di depositi superficiali incoerenti a secco per mezzo di pennelli.	ANP_CAM.F12.002.001 Verniciatura di infisso precedentemente sverniciato, compresa stuccatura e spianatura generale con carta abrasiva con applicazioni di più mani di cerniera per sottolungo e relativa spianatura e levigatura a più riprese, una mano di smalto lucido e mano finale di smalto colorato.	ANP_CAM.F04.012.010 Verniciatura di opere metalliche con due mani di smalto sintetico in colori chiari su superfici già preparate e trattate con antiruggine.	
TOS17_03.F10.002.001 Trattamento preventivo contro la crescita di microrganismi biodegradabili su superfici ad intonaco piane e/o curve, orizzontali o verticali, esterne ed interne, mediante applicazione a pennello o a spruzzo di prodotto biocida.	ANP_CAM.F12.002.002 Verniciatura di infisso precedentemente sverniciato, compresa stuccatura e spianatura generale con carta abrasiva previo lavaggio con acqua ossigenata ad acido ossalico per riportare la fibra del legno allo stato naturale, con applicazione di una mano di lustranti.		

Figura 57- Vista prospettica con analisi del degrado e relativa legenda.

Tutti i parametri e le informazioni condivisi forniscono un valido supporto per la definizione di abachi di quantità, attraverso i quali è possibile elencare gli elementi presenti nel modello, nonché i parametri ad essi associati. Gli abachi rappresentano delle viste di progetto, in quanto riflettono qualsiasi modifica applicata al modello e viceversa. Possono risultare utili per il calcolo della quantità di materiali, per estrarre dati di superficie e volume³⁹. Ciò è stato applicato anche all'analisi del degrado in quanto è stato possibile creare un abaco che riporta tutti gli elementi su cui intervenire, la tipologia di degrado e il restauro superficie. Inoltre essendo riportata l'area di superficie di ogni elemento è possibile valutare la grandezza dell'effettivo intervento, quindi preventivarne la manodopera, i materiale e i costi.

3.4.1 Conclusioni

Il risultato finale deve essere un modello in grado di scambiare informazioni tra i vari operatori in tutte le fasi di vita dell'opera consentendo a specialisti di aree differenti di collaborare condividendo le proprie competenze in un unico progetto. Nel caso studio, infatti, sono stati analizzati differenti ambiti proponendo diverse soluzioni d'approccio, unificate in un unico modello, consentendo a tutti di usufruirne. Questo porta ad una velocità in termini di tempo e risorse spese nel cercare e verificare, a ogni fase del processo, le informazioni necessarie per passare al livello successivo. Ciò non è ottenibile unicamente attraverso elaborati tridimensionali ma anche attraverso elaborati 2D in quanto il concetto di *Building Information Modeling* risiede nell'informazione e non solamente nella rappresentazione.

Inoltre riferendoci ad un edificio esistente il modello sarà sempre implementabile, ogni intervento costituirà un nuovo tassello da aggiungere per arrivare a un modello HBIM completo.

³⁹ Osello A. e Ugliotti F. M., *BIM Building Information Modelling. Verso il catasto del futuro. Conoscere, digitalizzare, condividere*, Gangemi Editore, Roma, 2017, p.55.

IES-03 Restauro			
ID Elemento	Tipologie di degrado	Restauro Superfici	Area Superficie
SOL - 309	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.003	40,42
SOL - 311	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.004	11,84
SOL - 312	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.005	1,46
SOL - 313	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.006	24,15
SOL - 315	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.008	25,48
SOL - 316	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.010	0,51
SOL - 317	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.011	0,47
SOL - 318	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.012	0,49
SOL - 319	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.013	0,81
SOL - 320	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.014	0,19
SOL - 325	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.016	38,77
SOL - 326	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.017	3,72
SOL - 339	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.027	13,51
SOL - 340	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.028	32,66
SOL - 341	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.029	1,44
SOL - 342	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.030	6,09
SOL - 343	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.031	1,55
SOL - 346	Alterazione cromatica	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.033	10,88
TRAVE - 114	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	1,17
TRAVE - 115	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	4,06
TRAVE - 116	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	3,68
TRAVE - 117	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	1,86
TRAVE - 118	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	11,05
TRAVE - 119	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	1,88
TRAVE - 120	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	3,65
TRAVE - 121	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	1,29
TRAVE - 122	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	12,39
TRAVE - 124	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	0,55
TRAVE - 125	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	3,68
TRAVE - 126	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	1
TRAVE - 127	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	10,82
TRAVE - 128	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	0,93
TRAVE - 129	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	3,65
TRAVE - 130	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	4,09
TRAVE - 131	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	1,17
TRAVE - 206	Alterazione cromatica	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	10,88
MUR - 051	Degrado antropico	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.001	0,4
FIN - 014	Degrado materiali lignei	ANP_CAM.F12.002.001; TOS17_PR.P05.010.001	8,5
FIN - 021	Degrado materiali lignei	ANP_CAM.F12.002.001; TOS17_PR.P05.010.001	24,97
FIN - 023	Degrado materiali lignei	ANP_CAM.F12.002.001; TOS17_PR.P05.010.001	49,72
FIN - 024	Degrado materiali lignei	ANP_CAM.F12.002.001; TOS17_PR.P05.010.001	22,23
FIN - 025	Degrado materiali lignei	ANP_CAM.F12.002.001; TOS17_PR.P05.010.001	11,57
FIN - 027	Degrado materiali lignei	ANP_CAM.F12.002.001; TOS17_PR.P05.010.001	7,8
IMP - 0225	Degrado materiali lignei	ANP_CAM.F12.002.001; TOS17_PR.P05.010.001	29,98
POR - 049	Degrado materiali lignei	ANP_CAM.F12.002.002	9,55
IMP - 0241	Degrado materiali metallici	ANP_CAM.F04.012.010; TOS17_02.F04.004.003	4,14
SOL - 308	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.002	8,09
SOL - 314	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.007	0,69
SOL - 315	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.009	0,69
SOL - 324	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.015	10,2
SOL - 331	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.020	10,56
SOL - 332	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.021	8,41
SOL - 334	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.022	1,95
SOL - 335	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.023	1,34
SOL - 336	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.024	3,62
SOL - 337	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.025	9,97
SOL - 338	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.026	56,9
SOL - 347	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.034	0,25
SOL - 348	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.035	2,45
SOL - 349	Incrostazione	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.036	0,76
TRAVE - 208	Incrostazione	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	10,88
TRAVE - 415	Incrostazione	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	0,8
TRAVE - 418	Incrostazione	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	0,28
TRAVE - 449	Incrostazione	TOS17_03.F10.003.001; TOS17_03.F10.001.001; TOS17_03.F10.002.001; TOS17_PR.P26.202.110	6,11
SOL - 327	Mancanza	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.018	0,49
SOL - 328	Mancanza	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.019	0,66
SOL - 344	Mancanza	TOS17_01.F04.002.001; ANP_CAM.F10.012.032	2,71

Figura 58- Abaco dello stato di degrado e degli interventi di restauro.

CONCLUSIONI

Applicare i sistemi BIM al costruito storico significa sfruttare le potenzialità della modellazione parametrica e allo stesso tempo la precisione di rilievi *BIM surveying*. Applicare tali sistemi diventa opportuno sugli edifici storici per le potenzialità informative che risiedono in essi, in un sistema BIM la chiarezza del modello è sintomo di una precisione analitica ed intellettuale.

Il caso studio dimostra che è possibile sviluppare modelli 3D di alta qualità in grado di connettere i dati da rilievo geometrico con i database semantici descritti, quali quelli riguardanti gli interventi di restauro e manutenzione, le analisi sulla conservazione e il funzionamento strutturale dell'edificio. Questo permette la realizzazione di modelli HBIM completi e ricchi di informazioni su tutte le discipline, in particolare per il restauro e la conservazione del patrimonio architettonico costruito, e consente molteplici tipologie di arricchimento dei dati sia a livello di librerie sia di singoli elementi.

L'obiettivo principale raggiunto è quello di proporre una qualità elevata del modello 3D, combinando metodologie efficienti di rappresentazione con livelli di dettaglio complessi. Ovviamente la precisione geometrica ottenuta garantisce anche un output di visualizzazione coerente, qualità indispensabile per una documentazione dettagliata e per una strategia di gestione in ambiente BIM per il patrimonio esistente.

Il lavoro ha consentito il pieno sfruttamento della precisione del laser scanner e della fotogrammetria, in quanto in grado di crear nuvole di punti e *mesh* degli elementi con un grado di dettaglio molto elevato. Inoltre, si è cercato di minimizzare la semplificazione degli elementi, la quale avrebbe portato alla conseguente perdita di precisione e informazione. Questo ha portato a riscontrare delle problematiche con la gestione di elementi molto complessi risolvibili, però, con la modellazione in file separati e successivamente collegati a quello principale. In questo modo si è raggiunta una buona procedura per la modellazione a partire da dati laser ottenendo, inoltre, l'implementazione delle librerie parametriche di elementi architettonici.

Per quanto riguarda la gestione delle informazioni è stata adottata una nuova metodologia per la gestione degli interventi di restauro in quanto l'utilizzo di elementi tridimensionali, implementati di informazioni derivanti dai saggi e dalle indagini, non ne permette unicamente la visualizzazione ma soprattutto ne rende possibile la valutazione e la gestione degli interventi.

Inoltre a dimostrazione del fatto che il BIM non è solamente un modello 3D ma la capacità di includere in ogni oggetto delle proprietà che vadano oltre la semplice rappresentazione grafica e che siano funzionali alla sua descrizione, la parte impiantistica è stata analizzata attraverso una visualizzazione bidimensionale puntando, quindi, principalmente sulle informazioni rispetto alla geometria. Ovviamente ulteriori fasi di ricerca potrebbero portare ad uno sviluppo tridimensionale del lato impiantistico consentendo di eseguire le clash detection.

Tutto questo, comunque, porta ad avere un idoneo quadro conoscitivo dell'edificio e delle sue componenti essenziali, con particolare riferimento a quelle statiche, funzionali ed impiantistiche.

In conclusione è stata presentata una metodologia per costruire un modello 3D semanticamente consapevole per architetture complesse. Partendo dalla nuvola di punti, ottenuta attraverso laser scanner e fotogrammetria, sono state elaborate *mesh* di elementi architettonici e un modello HBIM di alta qualità, completo di informazioni necessarie per la propria gestione. Sono state inserite basi su vari aspetti come modellazione, restauro e impianti, da prendere come guida per uno sviluppo e implementazione intelligente del sistema.

Bibliografia

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

Osello A., Ugliotti F.M., *BIM Building Information Modeling verso il catasto del futuro*, Gangemi Editore, Roma, 2017.

Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., *Il BIM - Guida completa al Building Information Modeling*, trad. it. Di Giuda G. M., Villa V., Ulrico Hoepli Editore, Milano, 2016, (ed. orig. *BIM Handbook*, John Wiley & Sons, 2011).

Garagnani S., *Il processo costruttivo tra rappresentazione e conoscenza: la nascita del Building Information Modeling*, INGENIO n.27, 2014.

Argiolas C., Prenza R., Quaquero E., *BIM 3.0 dal disegno alla simulazione: nuovo paradigma per il progetto e la produzione edilizia*, Gangemi Editore, Roma, 2015.

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

GSA, *Building Information Modeling Guide*, Washington, 2007.

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

Rizzarda C.C., Gallo G., *La sfida del BIM – Un percorso di adozione per progettisti e imprese*, AM4 Educational, Lecco, 2017.

Ciribini A., *BIM e digitalizzazione dell'ambiente costruito*, Grafill, Palermo, 2016.

Graphisoft, *Guida all'installazione di Archicad 20*, Graphisoft, 2016.

Di Luggo A., Scandurra S., La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi HBIM, DISEGNARE CON, volume 9/ n.16, giugno 2016.

Garagnani S., *HBIM nell'esistente storico, potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio*, Ingenio.

Di Luggo A., Scandurra S., La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi HBIM, DISEGNARE CON, volume 9/ n.16, giugno 2016.

Murphy M., McGovern E., Pavia S., Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, gennaio 2013.

Biagini C., Capone P., Donato V., Facchini N., *Towards the BIM implementation for historical building restoration sites*, Automation in Construction, settembre 2016.

Castagnetti C. et al., *Critical issues and key points from the survey to the creation of the Historical Building Information Model: the case of Santo Stefano Basilica*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-5/W1, 2017 GEOMATICS & RESTORATION – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, 22–24 May 2017, Florence, Italy.

Sacchi L., *Il punto sul B.I.M.*, DISEGNARE CON, volume 9/ n.16, giugno 2016.

Di Luggo A., Scandurra S., La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi HBIM, DISEGNARE CON, volume 9/ n.16, giugno 2016.

Quattrini R., Clini P., Nespeca R., Ruggeri L., Misura e Historical Building: sfide e opportunità nella rappresentazione di contenuti 3D semanticamente strutturati, DISEGNARE CON, volume 9/ n.16, giugno 2016.

Continenza R., Trizio I., Giannangeli A., Tata A., HBIM per il progetto di restauro: l'esempio della chiesa di San Cipriano a Castelvechio Calvisio (L'Aquila), DISEGNARE CON, volume 9/ n.16, giugno 2016.

Paris L., Wahben W., *Rilievo e rappresentazione delle geometrie parametriche per l'HBIM*, DISEGNARE CON, volume 9/ n.16, giugno 2016.

Brusaporci S., Cinti Luciani S., Mingucci R., *Le dimensioni del B.I.M.: postfazione*, DISEGNARE CON, volume 9/ n.16, giugno 2016.

Cicalò E., B.I.M. per la rappresentazione del patrimonio costruito storico. Il rilievo delle facciate decorate Liberty e Art Dèco, DISEGNARE CON, volume 9/ n.16, giugno 2016.

Billi B., Conti G., *Villa Victorine. Recupero di un'architettura ottocentesca pisana*, Edizioni ETS, Pisa, 2000.

Historic England, *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to user on laser scanning in archaeology and architecture*, English Heritage, 2011.

Blasi C. ed Coissin E., *La Fabbrica del Duomo di Parma. Stabilità, rilievi e modifiche nel tempo*, Fondazione Cariparma, Parma, 2006

Letellier R., Recording, *Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places*, The Getty Conservation Institute, 2007

Sitografia

WSP Group, *What is BIM*, 2017, <http://www.wsp-pb.com/en/Who-we-are/In-the-media/News/2013/What-is-BIM/>

<http://www.ibimi.it/wp-content/uploads/2016/07/Presentazione-Arlati.pdf> (accesso 14 agosto 2017)

<http://www.artificiodigitale.com/it/content/complesso-monumentale-di-santo-stefano>

<https://www.slideshare.net/unmodelling/14006-beyond-complexity-borinsplit>

<https://www.slideshare.net/unmodelling/bim-per-il-patrimonio-culturale-architettonico-sperimentazione-per-la-chiesa-degli-eremitani-a-padova-paolo-borin>

http://www.ingenio-web.it/Notizia/9657/BIM:_anche_il_progetto_con_elementi_in_2D_e_corretto_e_completo.html

Quattrini R., Clini P., Nespeca R., Ruggeri L., *Misura e Historical Information Building sfide e opportunità nella rappresentazione di contenuti 3D semanticamente strutturali*, Giugno 2016.

<http://disegnarecon.univaq.it>

<http://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-orientato-facility-management/#>

De la Torre M., *Value and Heritage Conservation*, Heritage & Society, volume 6, p.155, 2013.

<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/2159032X13Z.00000000011>