



**Politecnico  
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città  
A.A. 2024 / 2025  
Sessione di Laurea Luglio 2025

## **Dal Modello Numerico al Modello Parametrico**

*Ottimizzazione dei workflow per la conversione delle nuvole di  
punti in modelli BIM: il caso Basic-Fit*

Relatore:

Prof. Massimiliano Lo Turco

Candidata:

Caterina Pesce

*“Non est ad astra mollis e terris via.”*  
- Seneca, Hercules Furens, v. 437

## INDICE

<b>Abstract (ita)</b>	<b>8</b>
<b>Abstract (eng)</b>	<b>6</b>
<b>Premessa</b>	<b>13</b>
<b>1. Introduzione</b>	<b>19</b>
1.1 Fondamenti del BIM	19
1.2 Le nuvole di punti: definizioni, caratteristiche e utilizzi	23
1.3 Rilievo e acquisizione di nuvole di punti	26
1.3.1 Metodi di acquisizione delle nuvole di punti	26
1.4 Integrazione di nuvole di punti nel <i>workflow</i> BIM	30
<b>2. Stato dell'arte: strumenti e approcci per la conversione</b>	<b>35</b>
2.1 Tecniche e approcci metodologici	36
2.1.1 Scan-to-BIM e rilevamento TLS	37
2.1.2 Segmentazione semantica e classificazione	40
2.1.3 Analisi dei <i>features</i> 3D	42
2.1.4 <i>Machine Learning</i> e <i>Deep Learning</i> : strumenti di supporto all'automazione nei <i>workflow</i> BIM basati su <i>pointcloud</i>	44
2.2 Strumenti e software per l'automazione delle nuvole di punti	47
2.2.1 Software consolidati per l'elaborazione	49
2.2.2 Soluzioni innovative per l'automazione	54
2.2.3 Strumenti per la parametrizzazione e la modellazione	57
<b>3. Basic-Fit: un caso studio sull'ottimizzazione dei <i>workflow</i> BIM</b>	<b>63</b>
3.1 Introduzione a Basic-Fit	64
3.2 <i>Workflow</i> attuale per la progettazione e gestione degli spazi	66
3.2.1 NavVis Ixion e Scan-to-BIM	68
3.3 Opportunità di innovazione: automazione e ottimizzazione	73
3.4 Connessione tra Basic-Fit e il lavoro di ricerca	77
<b>4. <i>Workflow</i> per la conversione automatizzata: un caso concreto</b>	<b>81</b>
4.1 Confronto tra <i>workflow</i> tradizionali e automatizzati	82
4.2 Strumenti per l'automazione: panoramica comparativa	85
4.2.1 Undet for Revit	86

4.2.2 FARO As-Built for Revit	88
4.2.3 Prevu3D	89
4.3 Caso studio: progetto Basic-Fit	92
4.3.1 Descrizione del caso studio e obiettivi del test	92
4.4 Applicazione dei due software al caso studio	102
4.4.1 Applicazione di Undet for Revit	102
4.4.2 Applicazione di FARO As-Built for Revit	107
4.5 Analisi comparativa delle <i>performance</i> operative	110
4.6 Proposta di un <i>workflow</i> ottimizzato basato sui risultati	114
<b>5. Valutazione dei risultati e prospettive future</b>	<b>119</b>
5.1 Analisi critica dei risultati ottenuti	119
5.2 Opportunità di miglioramento nei <i>workflow</i> proposti	121
5.3 Verso l'automazione completa: il ruolo del <i>Machine Learning</i>	122
5.3.1 Scenari futuri: dalla segmentazione alla modellazione automatica	122
5.3.2 Sfide e potenzialità dell'AI nel BIM	124
<b>6. Conclusioni</b>	<b>127</b>
6.1 Sintesi dei risultati principali	127
6.2 Implicazioni per il settore	129
6.3 Riflessioni personali e direzione futura della ricerca	131
<b>7. Bibliografia</b>	<b>135</b>
<b>8. Sitografia</b>	<b>141</b>

## Abstract (ita)

La crescente diffusione delle tecnologie di rilievo tridimensionale e l'introduzione del *Building Information Modeling* (BIM) come standard operativo nel settore delle costruzioni hanno reso sempre più centrale il tema dell'integrazione delle nuvole di punti nei processi digitali di progettazione. In questo contesto, la presente tesi si propone di analizzare le potenzialità dell'automazione nella conversione delle *pointcloud* in modelli BIM parametrici, con un focus specifico sull'ottimizzazione dei *workflow* Scan-to-BIM in modelli "reality based" caratterizzati da serialità, tempistiche ridotte e standardizzazione, come nel caso del *retail*.

Le tecniche tradizionali di modellazione *as-built*, basate sulla ricostruzione manuale degli elementi architettonici a partire dai rilievi laser scanner, risultano oggi spesso inadeguate rispetto alle esigenze di efficienza, precisione e scalabilità. Il processo manuale è infatti lungo, soggettivo e dipendente dall'esperienza dell'operatore. Alla luce di queste criticità, la tesi esplora l'utilizzo di tecnologie emergenti come la segmentazione semantica, l'analisi delle caratteristiche geometriche e l'apprendimento automatico (*Machine Learning* e *Deep Learning*) per ridurre l'intervento umano e accelerare la fase di restituzione del rilievo.

Dopo una prima parte teorica che inquadra il ruolo del BIM e delle nuvole di punti nell'interoperabilità informativa del settore edilizio, viene proposto un approfondimento critico dello stato dell'arte, con l'analisi comparativa di software e approcci già in uso o in via di sviluppo. La parte centrale della tesi è dedicata a una sperimentazione applicata su un caso studio reale: un edificio situato a Heerlen, nei Paesi Bassi, destinato a diventare un *fitness club* Basic-Fit. Tale tipologia, ricorrente e funzionalmente standardizzata,

si è rivelata adatta per testare l'efficacia dei processi di automazione in un contesto professionale concreto.

Nel caso studio sono stati messi a confronto due software: *Undet for Revit* e *FARO As-Built for Revit*, entrambi compatibili con Autodesk Revit. La sperimentazione ha valutato la capacità dei programmi di automatizzare l'estrazione e la modellazione di elementi architettonici (pareti, aperture, pilastri, solai), in base a parametri come velocità di modellazione, accuratezza del risultato, semplicità d'uso e possibilità di integrazione nei *workflow* BIM aziendali.

A partire dall'analisi comparativa, è stato definito un *workflow* ottimizzato che unisce l'impiego di strumenti semi-automatici con attività di verifica e modellazione manuale nei punti più critici, permettendo un risparmio di tempo e una maggiore affidabilità nel risultato finale. Il modello proposto è pensato per essere replicabile in realtà operative che condividono caratteristiche simili a quelle di *Basic-Fit*, come ad esempio *Starbucks* o *McDonald's*, dove la ripetitività dei progetti rappresenta un'opportunità per l'introduzione di processi automatizzati.

In conclusione, la ricerca conferma che, sebbene la piena automazione della conversione da nuvola di punti a modello BIM resti ancora parzialmente da raggiungere, l'integrazione di strumenti intelligenti nei *workflow* di progettazione rappresenta una direzione concreta per migliorare la produttività, ridurre le imprecisioni e favorire una gestione più sostenibile del patrimonio costruito.

## Abstract (eng)

The increasing use of three-dimensional surveying technologies, combined with the adoption of Building Information Modeling (BIM) as a standard in the construction industry, has brought the integration of point clouds into digital design processes to the forefront. Within this framework, the present thesis investigates the potential of automating the conversion of point clouds into parametric BIM models, focusing specifically on optimizing Scan-to-BIM workflows in reality based models characterized by repetition, short timeframes, and standardized procedures, such as the retail sector. Traditional modeling techniques for as-built environments, based on manual reconstruction of architectural elements from laser scans, are often inadequate in terms of efficiency, accuracy, and scalability. Manual processes tend to be time-consuming, highly subjective, and reliant on the operator's experience. In light of these limitations, this research explores the use of emerging technologies—including semantic segmentation, geometric feature analysis, and machine learning (ML and DL)—to reduce human intervention and streamline the scan-to-model phase.

Following a theoretical introduction on the role of BIM and point clouds within digital construction processes, the thesis presents a critical review of the current state of the art, analyzing and comparing software and approaches already in use or under development. The core of the work consists of an applied experiment conducted on a real case study: a commercial building located in Heerlen, the Netherlands, planned to be converted into a Basic-Fit gym. This typology, being functionally standardized and frequently replicated, was particularly suitable for testing automation tools in a real-world professional setting.

Two software tools were compared in the case study: Undet for Revit and FARO As-Built for Revit, both of which integrate with Autodesk Revit. The analysis focused on their ability to automate the modeling of architectural elements (walls, openings, columns, floors), based on parameters such as processing speed, output accuracy, usability, and compatibility with existing BIM workflows.

Based on the comparative analysis, an optimized workflow was proposed that combines the use of semi-automated tools with manual verification and modeling where necessary. This approach allows for significant time savings and improved reliability. The workflow is designed to be replicable in other business models that share similar traits with Basic-Fit, such as Starbucks or McDonald's, where the standardization of projects presents an opportunity for automation.

In conclusion, the research confirms that, although the full automation of point cloud to BIM conversion remains a goal yet to be fully achieved, the integration of intelligent tools into BIM workflows represents a concrete direction for increasing productivity, reducing errors, and enabling more sustainable management of the built environment.

## Premessa

La scelta di dedicare questa ricerca alla conversione automatizzata della *pointcloud* (nuvola di punti) nel BIM (*Building Information Modeling*) nasce da un percorso di studi e di esperienze sul campo che mi hanno progressivamente avvicinato al mondo della progettazione architettonica e delle sue tecnologie più avanzate. Il BIM rappresenta oggi uno standard innovativo nel settore delle costruzioni, avendo apportato un cambiamento rivoluzionario nella gestione delle informazioni e nella collaborazione tra professionisti. Grazie al BIM, oggi è possibile realizzare modelli 3D parametrici altamente dettagliati che non solo migliorano la qualità dei progetti, ma permettono di ottimizzare e coordinare le varie fasi del processo in modo straordinariamente efficiente.

È importante sottolineare che l'adozione del BIM non rappresenta soltanto una scelta tecnica o un'evoluzione tecnologica, ma anche una risposta concreta alla necessità di una gestione più sostenibile ed efficiente degli edifici. Con il decreto Baratonò (D.M. 560/2017)<sup>1</sup>, il quadro normativo italiano ha reso obbligatorio l'uso del BIM per i progetti pubblici, spingendo verso un'ulteriore digitalizzazione del settore. Tale percorso è stato ulteriormente consolidato con il nuovo Codice dei Contratti Pubblici (D. Lgs. 36/2023) che costituisce un'importante novità legislativa in materia di appalti. In particolare, l'Allegato I.7 del nuovo Codice disciplina in modo puntuale l'adozione delle metodologie e strumenti di gestione informativa digitale, consolidando il BIM come standard obbligatorio nei processi di affidamento e gestione dei contratti pubblici. Il testo chiarisce anche i requisiti minimi delle stazioni appaltanti, promuovendo la qualificazione digitale delle amministrazioni e introducendo l'obbl-

<sup>1</sup> Il "Decreto Baratonò" (DM 560/2017) stabilisce l'obbligo di utilizzare il BIM per i progetti pubblici in Italia, a partire dai lavori complessi con importi superiori a 100 milioni di euro, con una progressiva riduzione della soglia fino al 2025, quando sarà obbligatorio per tutte le opere pubbliche. Il decreto regola l'adozione del BIM, richiedendo alle stazioni appaltanti di dotarsi di personale formato e di utilizzare piattaforme interoperabili per migliorare la gestione dei progetti e la collaborazione tra i professionisti. (Infobuild. *Il BIM per le opere pubbliche*. Consultato a Ottobre 2024 da <https://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-building-information-modeling-e-appalti-pubblici/>)

go dell'uso di ambienti di condivisione dati (*Common Data Environment - CDE*), al fine di garantire interoperabilità, tracciabilità e trasparenza.

In questo quadro normativo, la transizione rappresentata, dunque, tanto una modernizzazione tecnica, quanto un'opportunità per ottimizzare risorse, tempi e costi, con un impatto positivo sulla gestione e manutenzione degli edifici nel lungo periodo.

Le tecniche tradizionali per la conversione delle nuvole di punti in modelli BIM, come l'elaborazione manuale dei dati tramite software specifici, pur essendo consolidate, presentano limiti significativi in termini di velocità, precisione e automazione. La necessità di un intervento umano intensivo, soprattutto per edifici con geometrie complesse, spesso introduce errori o ambiguità, rendendo difficile ampliare il processo su larga scala.

La mia esperienza come *BIM Modeler* presso Basic-Fit, un'azienda olandese con un ampio programma di sviluppo per centri *fitness*, ha contribuito a rendere ancora più concreto il mio interesse per l'automazione dei processi BIM. Nel mio ruolo, affronto quotidianamente criticità legate alla gestione delle nuvole di punti acquisite tramite rilievi laser scanner che forniscono delle rappresentazioni altamente dettagliate degli edifici. Nonostante ciò, la conversione di questi dati grezzi in modelli BIM resta ancora un processo lungo e laborioso, specialmente quando si tratta di edifici con geometrie complesse. Da questa difficoltà riscontrabile in fase di restituzione del rilievo è emersa la consapevolezza che, pur essendo le *pointcloud* uno strumento innovativo, richiedono soluzioni tecnologiche ancora più avanzate per poter essere sfruttate appieno.

La ricerca si propone, dunque, di esplorare e sviluppare un *workflow* in grado di automatizzare la conver-

sione delle nuvole di punti in modelli BIM, sfruttando le potenzialità offerte attualmente dal *machine learning*<sup>2</sup> e dall'Intelligenza artificiale. L'obiettivo è ridurre i tempi di lavorazione, migliorare l'efficienza e minimizzare gli errori derivanti dall'interpretazione manuale dei dati, offrendo così non solo un vantaggio al mio contesto lavorativo, ma anche un contributo significativo all'intero settore delle costruzioni.

Un esempio emblematico della complessità legato alla trasformazione dei dati di rilievo in modelli informativi è rappresentato dal progetto di rilievo laser scanner del Colosseo di Roma, dove l'elevato livello di dettaglio acquisito ha posto sfide significative nella modellazione BIM. Sebbene questo tipo di intervento sia unico per importanza storica e dimensione, le difficoltà tecniche riscontrate evidenziano problematiche simili, su scala diversa, anche in contesti ordinari. Nella pratica quotidiana, infatti, edifici di minori dimensioni e privi di valore artistico mostrano comunque la necessità di ottimizzare i processi di conversione delle nuvole di punti in modelli BIM, specialmente quando si opera con tempistiche ristrette e requisiti standardizzati. In questi casi, l'introduzione di strumenti e metodi automatizzati può contribuire in modo decisivo a migliorare l'efficienza e la qualità del risultato.

Questa ricerca seguirà un percorso che, partendo dall'analisi delle tecnologie attuali, esplorerà lo stato dell'Arte sull'automazione delle *pointcloud*. Questa struttura consentirà di analizzare, testare e proporre soluzioni considerabili innovative applicabili sia a contesti storici e complessi che ad esigenze aziendali come quelle di Basic-Fit, permettendo di verificare concretamente il potenziale delle tecnologie proposte.

In conclusione, questa ricerca non si limita a risolvere

<sup>2</sup> L'apprendimento automatico, o in inglese *machine learning*, è una branca dell'Intelligenza artificiale che raccoglie metodi sviluppati per addestrare algoritmi o modelli ad apprendere in maniera autonoma dai dati e fare previsioni o prendere decisioni e, dunque, senza essere esplicitamente programmati. (De Mauro, A. (2019). *Big data analytics: guida per iniziare a classificare e interpretare dati con il machine learning*, Apogeo.)

una problematica tecnica, ma intende riflettere sul potenziale della tecnologia nel ridefinire il ruolo dei processi progettuali, contribuendo a promuovere pratiche più sostenibili, precise ed efficienti. In un mondo sempre più orientato alla digitalizzazione, auspico che il mio lavoro possa offrire un valore aggiunto al settore, ridefinendo il modo in cui concepiamo e gestiamo gli spazi costruiti.

## 1. Introduzione

### 1.1 Fondamenti del BIM

Il *Building Information Modeling* (BIM) non è uno strumento o un software, ma un processo<sup>3</sup> che consente di gestire e trasformare le informazioni relative alla progettazione, costruzione e gestione di edifici e infrastrutture. Grazie a questo approccio, è possibile raccogliere, strutturare e integrare dati provenienti da fonti diverse, rendendoli utilizzabili in tutte le fasi del ciclo di vita di un edificio. Nella maggior parte dei contesti tradizionali, le informazioni sugli edifici tendono ad essere frammentate e disorganizzate, ostacolando la loro effettiva utilità. Senza un sistema strutturato, tali dati rimangono elementi isolati, incapaci di supportare efficacemente le decisioni operative.

Quando si tratta di edifici esistenti, le nuvole di punti rappresentano il punto di partenza: una raccolta massiva di coordinate spaziali che descrivono la geometria di un ambiente o di un edificio con grande precisione, ma senza alcuna struttura o semantica integrata. Questi dati, se lasciati nella loro forma grezza, sono frammenti disorganizzati che necessitano di un processo complesso di elaborazione e integrazione per essere trasformati in strumenti utili ai fini della progettazione e gestione degli edifici. Ed è qui che il BIM entra in gioco.

Il BIM è un processo che trasforma una base dati non interpretata delle nuvole di punti in un modello digitale interattivo e integrato. Se immaginiamo le nuvole di punti come una fotografia tridimensionale di un edificio, ricca di dettagli ma priva di significato organizzativo, il BIM funziona come un sistema capace di strutturare e arricchire questi dati grezzi, assegnando proprietà semantiche e parametriche con risultato un

<sup>3</sup> Di Giuda, G. (2019). *Introduzione al BIM. Protocolli di modellazione e gestione informativa*. Società Editrice Esculapio.

modello digitale che non rappresenta soltanto la geometria dell'edificio, ma integra informazioni utili per ogni fase del suo ciclo di vita.

La PAS 1192-2:2013<sup>4</sup> definisce il BIM come:

«il processo di progettazione, costruzione e gestione di un edificio o di un'infrastruttura basata sull'utilizzo di informazioni computazionali orientate agli oggetti.»

Una definizione più completa e immediata del BIM è quella fornita da BIMDictionary, che lo descrive come:

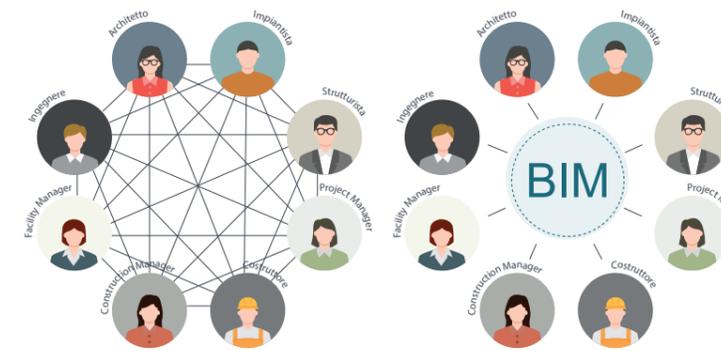
«un insieme di tecnologie, processi e politiche che consentono a più parti interessate di progettare, costruire e gestire in modo collaborativo una struttura all'interno di uno spazio virtuale.»

Queste definizioni mettono in risalto la capacità del BIM di trasformare i dati di base in un ambiente interattivo e dinamico dove ogni parte del progetto può essere monitorata, aggiornata e migliorata in tempo reale, creando così un *workflow* integrato.

Il BIM si distingue, quindi, per i suoi aspetti innovativi e rivoluzionari nel mondo della progettazione e gestione delle costruzioni. Una delle sue caratteristiche principali è la capacità di includere nel progetto dimensioni non spaziali, come le informazioni relative alla gestione, alle prestazioni energetiche, ai costi e alla manutenzione degli edifici. Questi dati, integrati direttamente nel modello, consentono di avere una visione completa del progetto, andando oltre la semplice rappresentazione grafica.

Un altro vantaggio è la possibilità di condividere queste informazioni tra i diversi attori coinvolti - architetti, ingegneri, costruttori, committenti e gestori - che operano su una piattaforma comune. Questo approccio

collaborativo riduce i tempi di comunicazione, minimizza le discrepanze tra i vari comparti e favorisce una maggiore interazione durante tutte le fasi del ciclo di vita del progetto, dal *concept* iniziale alla demolizione o riqualificazione.



Un ulteriore elemento distintivo del BIM rispetto ad altri processi di modellazione è l'uso di oggetti parametrici. Gli oggetti parametrici sono elementi digitali dotati di geometrie e proprietà definite da parametri variabili, il che li rende estremamente versatili e adattabili. Ad esempio, una porta inserita in un muro non è un semplice disegno statico, ma un oggetto intelligente che si adatta automaticamente alle dimensioni del muro stesso e si aggiorna in base ad eventuali modifiche. Se il muro cambia spessore o altezza, la porta si ridimensiona di conseguenza, e questo comportamento si estende anche agli oggetti correlati, come finestre, impianti o complementi strutturali.<sup>5</sup>

Mentre strumenti di modellazione 3D come Sketchup o software CAD si concentrano principalmente sulla geometria degli oggetti, il BIM offre un approccio molto più ampio e integrato, gestendo un flusso continuo di informazioni che riguardano l'intero ciclo di vita di un edificio. Ciò significa che il BIM non è solo un modello 3D fine a sé stesso, ma una piattaforma dove vengono immagazzinate, organizzate e condivise tut-

[Figura 1] Schema rappresentativo che confronta lo scambio tradizionale di disegni 2D, caratterizzato da una rete complessa di comunicazione tra i professionisti (sinistra), e l'interoperabilità BIM, che centralizza le informazioni attorno ad un modello unico, migliorando collaborazione ed efficienza (destra). Elaborato personale.

<sup>4</sup> La PAS 1192-2:2013 è uno standard britannico che fornisce le linee guida per la gestione delle informazioni durante il ciclo di vita di un bene edilizio, in particolare nell'ambito della progettazione, costruzione e gestione.

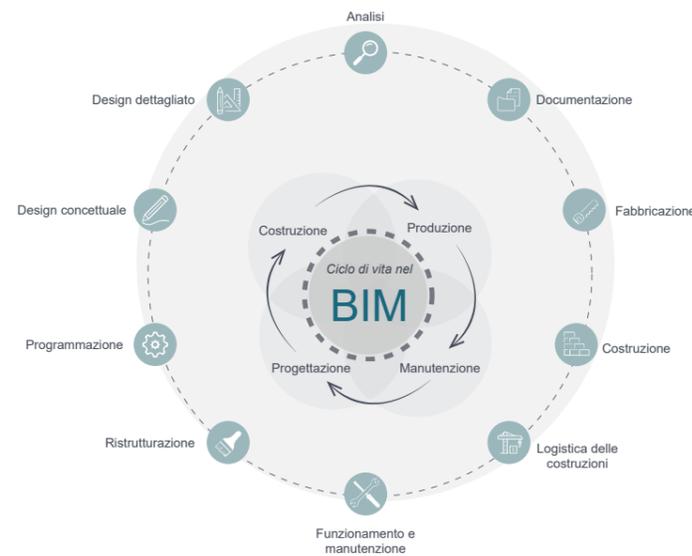
<sup>5</sup> Eastman, C. (2016). *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*. Hoepli.

te le informazioni relative alla progettazione, costruzione, gestione e manutenzione dell'edificio.

Il BIM trova applicazione in tutte le fasi del ciclo di vita di un edificio:

- durante la progettazione, facilitando la visualizzazione e l'analisi del progetto, permettendo di identificare e risolvere potenziali criticità prima dell'inizio dei lavori;
- durante la costruzione, migliorando la coordinazione tra le diverse discipline, riducendo gli errori e i costi legati a modifiche non pianificate;
- nella fase di gestione, dove fornisce informazioni importanti per la manutenzione e le operazioni quotidiane dell'edificio, rendendo più efficienti le attività di *facility management*.

[Figura 2] Schema rappresentativo del ciclo di vita nel BIM, che integra tutte le fasi di un progetto edilizio, dalla progettazione concettuale alla manutenzione. Ogni fase (analisi, documentazione, costruzione, ecc.) è collegata, evidenziando la continuità e l'efficienza del processo BIM. Elaborato personale.



Secondo il NBIMS<sup>6</sup>, l'obiettivo del BIM è realizzare

*«un processo più efficiente di pianificazione, progettazione, costruzione, gestione e manutenzione che utilizzi un modello standardizzato di informazioni in formato digitale per ogni edificio, nuovo o esistente, contenente tutte le informazioni create o raccolte su tale edificio in un formato utilizzabile da tutti i soggetti interessati nell'intero ciclo di vita.»*

<sup>6</sup> Il NBIMS (*National Building Information Modeling Standard*) è uno standard sviluppato negli Stati Uniti nel 2008 per promuovere l'adozione e l'implementazione del *Building Information Modeling* (BIM) nel settore delle costruzioni. È stato creato per fornire una base comune e linee guida per l'uso del BIM facilitando la comunicazione e la collaborazione tra diversi attori del settore, come architetti, ingegneri, appaltatori e proprietari.

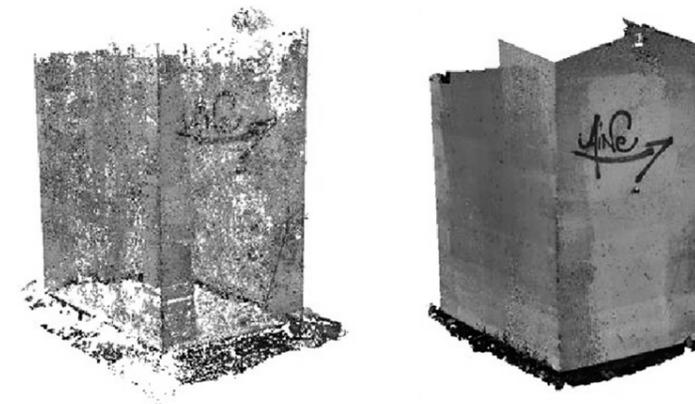
## 1.2 Le nuvole di punti: definizioni, caratteristiche e utilizzi

L'acquisizione di *pointcloud* (nuvole di punti) è diventata, nel corso degli ultimi anni, una tecnologia sempre più vantaggiosa nel rilievo digitale, consentendo rappresentazioni tridimensionali dettagliate di oggetti e spazi. Questo metodo permette in modo facile e relativamente veloce di acquisire dati direttamente dall'ambiente fisico e trasformarli in modelli digitali utili per scopi architettonici, ingegneristici e di restauro. Le nuvole di punti sono un insieme di punti tridimensionali<sup>7</sup> che formano una riproduzione virtuale della superficie di un oggetto o di un ambiente. Ogni punto, caratterizzato da coordinate *x, y, z*, viene generato per rappresentare con precisione le proprietà geometriche di superfici, volumi e dettagli che altrimenti risulterebbero difficili da documentare, specialmente in presenza di geometrie intricate.

Le *pointcloud* si distinguono in dense e sparse, in base alla distribuzione dei punti nello spazio. Le dense, con un elevato numero di punti per unità di superficie garantiscono una rappresentazione molto dettagliata ma richiedono maggiore potenza di calcolo<sup>8</sup>. Le sparse, invece, sono più rapide da elaborare e possono risultare sufficienti per analisi preliminari o grandi spazi.

<sup>7</sup> Acca Software, <https://www.acca.it/nuvola-di-punti>

<sup>8</sup> Con "maggiore potenza di calcolo" si intende la capacità del computer o del sistema di elaborare grandi quantità di dati complessi in tempi relativamente brevi. Le nuvole di punti dense, caratterizzate da un elevato numero di punti, producono *file* di dimensioni molto grandi e richiedono *hardware* performanti per gestire operazioni come l'elaborazione, la visualizzazione e l'estrazione di informazioni utili.



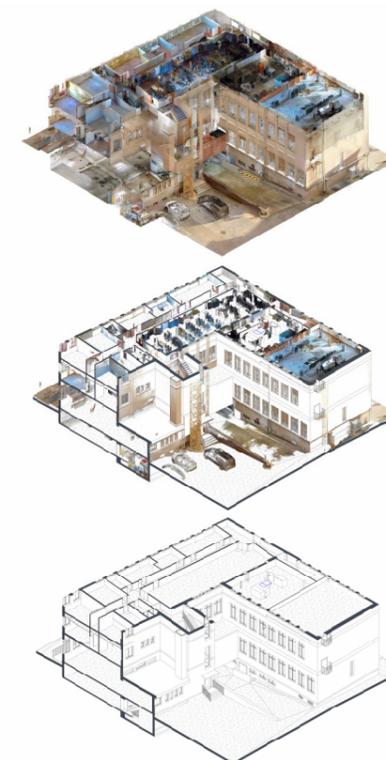
[Figura 3] Wójcik, B., Żarski, M. (2020). *Nuvola di punti sparsa (a sinistra) e nuvola di punti densa (a destra)*. In *Assessment of State-of-the-Art Methods for Bridge Inspection: Case Study*, ResearchGate. <https://doi.org/10.24425/ace.2020.135225>



[Figura 4] Basic-Fit (2023). Esempio di nuvola di punti rappresentante un *fitness club* Basic-Fit realizzato all'interno di un'antica chiesa sconsacrata a Falaise, Francia. Scansione gentilmente concessa da Basic-Fit per la tesi di laurea, a.a. 2024-2025.

La tecnologia delle *pointcloud*, nata inizialmente in ambito geospaziale e utilizzata per l'acquisizione dei dati della superficie terrestre<sup>9</sup>, si è rapidamente affermata nel settore delle costruzioni e della gestione del patrimonio architettonico, grazie alla sua capacità di rilevare dati con precisione millimetrica. Questo sistema consente di rilevare edifici, strutture o interi paesaggi, fornendo una base accurata di dati che può essere utilizzata per modellare o monitorare cambiamenti strutturali nel tempo.

Si dimostra particolarmente utile nei progetti di restauro e ristrutturazione, dove è fondamentale ottenere una rappresentazione dettagliata delle condizioni esistenti per garantire interventi rispettosi delle strutture originali. Le *pointcloud* rappresentano, quindi, un vero e proprio ponte tra il mondo fisico e quello digitale, mediante il quale i dati acquisiti possono essere elaborati e integrati in software BIM, permettendo una visione integrata delle informazioni spaziali e facilitando i processi di progettazione e documentazione.



[Figura 5] Scan-to-BIM. Dall'alto verso il basso: la nuvola di punti derivante dal rilievo; la sovrapposizione tra la nuvola di punti e il modello BIM; il modello BIM. Scansione gentilmente concessa da Basic-Fit per la tesi di laurea, a.a. 2024-2025.

<sup>9</sup> LinkedIn. *The history of point cloud development*. Consultato a Novembre 2024 da [https:// www.linkedin.com/pulse/hi](https://www.linkedin.com/pulse/hi)

### 1.3 Rilievo e acquisizione di nuvole di punti

Anche se l'attività di acquisizione delle nuvole di punti non costituisce l'elemento centrale di questo lavoro di ricerca, è importante fornire una panoramica per comprendere le basi tecniche su cui si sviluppano le successive fasi di elaborazione e modellazione.

In estrema sintesi, si presenteranno i principali strumenti per generare le *pointcloud*, ciascuno con caratteristiche e utilizzi specifici. Tra i più comuni vi sono la scansione LiDAR, il laser scanner e la fotogrammetria, che si distinguono principalmente per la tecnologia utilizzata e l'accuratezza dei risultati.

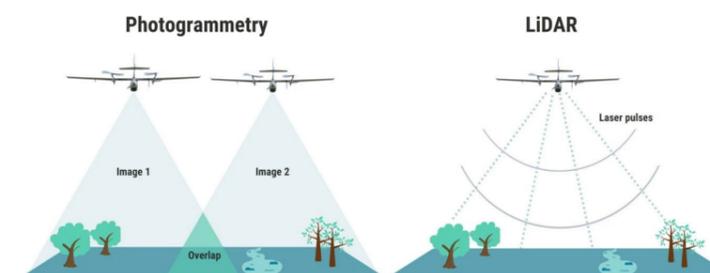
#### 1.3.1 Metodi di acquisizione delle nuvole di punti

Il LiDAR (*Light Detection and Ranging*) è una tecnologia di telerilevamento attivo che consiste nell'emissione di impulsi laser e nella successiva misurazione del tempo impiegato dal segnale per riflettersi su una superficie e ritornare al sensore. Si tratta di uno strumento molto sofisticato, conosciuto per la sua alta precisione, utilizzato in situazioni in cui la dettagliata rappresentazione della topografia è fondamentale, come nei rilievi di aree boschive, dove riesce a penetrare attraverso il fogliame, e nella modellazione di dettagli minuti come cavi o linee elettriche. Raj et al. (2020) riportano che i principali meccanismi di scansione LiDAR sono costituiti da tecnologie ottico-meccaniche, elettromeccaniche, MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) e *solid-state*, ciascuna con specifiche caratteristiche in termini di campo visivo, velocità di acquisizione, affidabilità e idoneità all'integrazione su piattaforme mobili. In particolare, gli sviluppi nei sensori MEMS e *solid-state* hanno reso possibile l'uso del LiDAR su droni e veicoli autonomi, facilitando rilievi ad alta risoluzione anche in aree difficilmente accessibili come montagne, foreste o siti archeologici.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Raj, T., Hashim, F. H., Huddin, A. B., Ibrahim, M. F., & Hussain, A. (2020). *A Survey on LiDAR Scanning Mechanisms*. *Electronics*, 9(5), 741. <https://doi.org/10.3390/electronics9050741>

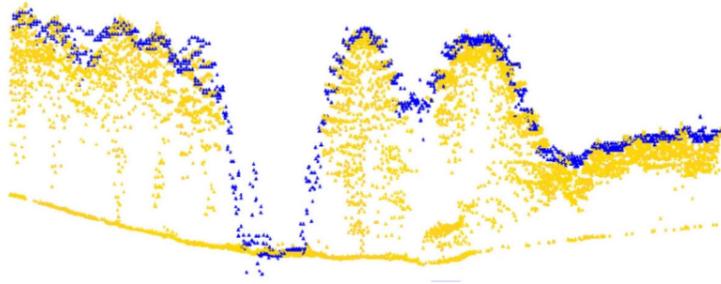
Nonostante le numerose potenzialità, il LiDAR presenta ancora alcune limitazioni tecniche. La tecnologia richiede una linea di vista libera: ostacoli fisici come edifici, vegetazione densa o strutture complesse possono interferire con la propagazione del segnale laser, causando ombre e lacune nei dati acquisiti. Inoltre, le condizioni meteorologiche avverse — come pioggia, nebbia o neve — possono assorbire o deviare gli impulsi laser, riducendo significativamente l'accuratezza e l'efficacia delle misurazioni, specialmente su lunghe distanze.

La fotogrammetria utilizza, invece, immagini fotografiche per generare modelli tridimensionali. A differenza del LiDAR, i dati ottenuti tramite fotogrammetria contengono informazioni di colore (RGB), rendendo il modello finale più realistico dal punto di vista visivo. Questa metodologia è indicata per rilievi di grandi aree all'aperto e si basa su un insieme di fotografie scattate da angolazioni differenti, che vengono successivamente elaborate per ottenere una *pointcloud*. La sua affidabilità dipende, però, dalla qualità delle condizioni luminose, riducendone l'efficacia in ambienti con scarsa illuminazione o in situazioni meteorologiche avverse. Nonostante la fotogrammetria offra una precisione minore rispetto al LiDAR risulta essere la più vantaggiosa in termini di accessibilità ed economici.<sup>11</sup>



<sup>11</sup> Enterprise. *Using point clouds the right way*. Consultato a Ottobre 2024 da <https://enterprise-insights.dji.com/blog/point-clouds>

[Figura 6] Confronto tra fotogrammetria e LiDAR: la fotogrammetria utilizza immagini sovrapposte per ricostruire modelli 3D, mentre il LiDAR impiega impulsi laser per misurare distanze, garantendo maggiore precisione in aree con vegetazione densa. Jouav. Unmanned Aircraft System. *LiDAR vs. Photogrammetry: The Ultimate Showdown for 3D Mapping (2025)*. Consultato a Novembre 2024 da <https://www.jouav.com/blog/lidar-vs-photogrammetry.html>



Il laser scanner è una tecnologia di rilevamento molto simile al LiDAR, ma presenta alcune differenze nel metodo di acquisizione e gestione dei dati. Il laser scanner utilizza impulsi di luce per misurare la distanza tra il dispositivo e gli oggetti circostanti. A differenza del LiDAR, comunemente installato su droni o aerei e che utilizza sensori tecnologicamente più complessi per raccogliere una maggiore varietà di dati, il laser scanner è solitamente usato in modalità terrestre, montato quindi su apparecchiature a livello del suolo, come tripodi, veicoli o scanner manuali. Questa tecnologia è molto precisa e viene impiegata per generare nuvole di punti 3D ad alta risoluzione, acquisendo milioni di punti al secondo.

È particolarmente vantaggioso per il rilevamento di edifici, strutture interne, o per siti complessi dove è richiesta una precisione millimetrica. Uno dei principali vantaggi del laser scanner è che offre un'eccezionale risoluzione spaziale, catturando i dettagli più minuziosi di architetture complesse, particolari di facciate e altre caratteristiche che potrebbero essere difficili da rilevare con altre tecniche come il LiDAR. Questa tecnologia risulta, però, essere più onerosa rispetto ad altre alternative come la fotogrammetria.

Oltre a queste tecniche principali, esistono anche altri strumenti per il rilievo, come i sistemi GNSS (*Global Navigation Satellite System*) che, se integrati con altre tecnologie di rilevamento, possono migliorare l'accuratezza spaziale nelle operazioni di geolocalizzazione

e nelle misurazioni di grandi distanze. Il loro funzionamento è simile a quello del GPS<sup>12</sup> (*Global Positioning System*): forniscono informazioni di posizionamento e tempo utilizzando una rete di satelliti che orbitano intorno alla terra.

I satelliti inviano segnali contenenti informazioni di tempo e posizione, che vengono captati da un ricevitore GNSS, come quelli utilizzati nei dispositivi di rilevamento e nei navigatori GPS. Per calcolare la posizione precisa sulla superficie terrestre, il ricevitore deve captare i segnali di almeno quattro satelliti. Il funzionamento si basa sulla trilaterazione, un metodo che misura la distanza tra il ricevitore e ciascun satellite. Ogni satellite emette un segnale con un preciso *timestamp*<sup>13</sup>, e il ricevitore calcola il tempo impiegato dal segnale per arrivare, convertendolo in distanza. Incrociando le distanze rilevate da almeno quattro satelliti, il sistema è in grado di determinare con precisione la posizione del ricevitore, fornendo informazioni su latitudine, longitudine e altitudine. La precisione può arrivare fino a pochi centimetri nei sistemi GNSS avanzati, come il GPS (USA), il Galileo (Europa), il GLONASS (Russia) e il BeiDou (Cina).

[Figura 7] Copertura forestale. Confronto tra nuvole di punti fotogrammetriche (blu) e LiDAR (giallo). Jouav. Unmanned Aircraft System. *LiDAR vs. Photogrammetry: The Ultimate Showdown for 3D Mapping (2025)*. Consultato a Novembre 2024 da <https://www.jouav.com/blog/lidar-vs-photogrammetry.html>

<sup>12</sup> Federal Aviation Administration. *Satellite Navigation - Global Positioning System (GPS)*. Consultato a Dicembre 2024 da [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/gps](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps)

<sup>13</sup> *Timestamp* è una marca temporale che indica il momento esatto in cui un evento avviene o un dato viene registrato. È una sequenza di informazioni (spesso numeri e data) che permette di localizzare un'azione in un preciso istante nel tempo.

## 1.4 Integrazione di nuvole di punti nel *workflow* BIM

La *pointcloud*, grazie alla sua capacità di restituire dati tridimensionali estremamente dettagliati, sta acquisendo un'importanza esponenziale nel processo BIM. Se da una parte si caratterizza per la sua innovazione e il potenziale di trasformare *iter* di lavoro tradizionali, dall'altra presenta ancora alcune criticità, legate soprattutto alla gestione e alla trasformazione dei dati grezzi in modelli parametrici utilizzabili. Le *pointcloud* risultano spesso troppo pesanti per un utilizzo diretto, richiedendo processi di ottimizzazione per ridurre le dimensioni senza compromettere i dettagli essenziali. L'integrazione delle nuvole di punti nel BIM si avvale sempre di più di tecniche avanzate per automatizzare le operazioni di analisi e ottimizzazione. Tra queste, la classificazione semantica rappresenta un punto di svolta, in quanto consente di suddividere le nuvole di punti in sottoregioni in base alle caratteristiche geometriche. Questo approccio mira a facilitare non soltanto le fasi successive, come la modellazione parametrica, ma anche una gestione più efficiente dei dati.

Ad oggi, un tradizionale *workflow* BIM con integrazione delle *pointcloud* prevede le seguenti fasi: acquisizione dei dati tramite strumenti di rilievo 3D, pre-elaborazione per ridurre il volume dei dati, quindi per renderli più gestibili e utili per il processo di modellazione BIM, importazione della nuvola di punti nel software di modellazione, modellazione manuale parametrica, e infine validazione del modello.

La fase di pre-elaborazione è particolarmente critica, poiché molte volte, in base alle dimensioni e alle caratteristiche dell'edificio scansionato, le nuvole di punti risultano spesso troppo pesanti per un utilizzo diretto.<sup>14</sup> Dunque, dopo il rilievo sul campo, le *pointcloud* sono soggette ad una fase di pulizia e decimazione

che facilita la gestione dei dati senza comprometterne la qualità. Strumenti come CloudCompare o Recap di Autodesk consentono di eliminare i punti superflui e normalizzare la densità dei dati, garantendo che solo le informazioni importanti per la modellazione vengano conservate.

Un esempio innovativo che rappresenta un caso non strettamente aderente al *workflow* BIM odierno è da trovarsi nel Monastero di Santa Paula a Siviglia. Qui, l'analisi delle proprietà geometriche tridimensionali ha permesso di distinguere superfici piane e ornamenti complessi. In questo caso studio sono state applicate con successo delle tecnologie avanzate, il *clustering*<sup>15</sup> e il campionamento ponderato<sup>16</sup>, permettendo l'ottimizzazione della nuvola di punti, riducendo la dimensione dei dati senza rinunciare ai dettagli essenziali.<sup>17</sup>

Un ulteriore passaggio fondamentale, ma ancora in fase di sviluppo, è rappresentato dalla segmentazione delle nuvole di punti. Questa operazione consente di organizzare le informazioni in componenti semantiche, come pareti, pilastri o pavimenti, sempre al fine di migliorare i tempi di modellazione nei software BIM.

Nel contesto aziendale, realtà come Basic-Fit, Starbucks e McDonald's, che operano su progetti simili, ripetibili e standardizzati, trarrebbero grande beneficio nell'adozione di queste metodologie. La possibilità di applicare con facilità queste tecniche su più progetti simili consentirebbe di ridurre significativamente i tempi di modellazione, rispondendo così alle esigenze di ottimizzazione e rapidità proprie di queste realtà.

Entrando nello specifico, all'interno di Basic-Fit, le *pointcloud* vengono utilizzate principalmente in due fasi:

<sup>15</sup> Il *clustering* è una tecnica che permette di raggruppare i punti in base alla loro vicinanza spaziale, creando sottoregioni omogenee all'interno della *pointcloud*. Questa metodologia semplifica l'elaborazione dei dati, isolando aree di interesse specifico, come superfici piane o elementi ornamentali.

<sup>16</sup> Il campionamento ponderato, invece, seleziona i punti in base ad una probabilità che dipende dalla loro importanza geometrica. Le aree con maggiore complessità, come superfici curve o angoli, vengono campionate con maggiore frequenza, mantenendo la precisione nelle zone più significative per la progettazione.

<sup>17</sup> Rodríguez-González, P., & Fernández-Palacios, B.J. (2021). Point cloud optimization based on 3D geometric features for architectural heritage modelling. *Disegnare-CON*, 14(26). <https://doi.org/10.20365/disegnare-con.26.2021.18>

<sup>14</sup> Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19(7), 829–843. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007>

- Restituzione di rilievi. Prima dell'avvio della progettazione delle palestre, l'azienda individua ed effettua un rilievo accurato dell'edificio tramite laser scanner, creando modelli 3D dettagliati degli spazi esistenti. Questi modelli forniscono una base di partenza per il progetto, permettendo una pianificazione precisa e realistica dello spazio.
- Fase *"as-built"*. Le nuvole di punti vengono impiegate per verificare la corrispondenza tra quanto progettato e quanto effettivamente realizzato. Questo consente di controllare le metrature delle superfici, come quelle delle finiture di pareti e pavimenti, garantendo un buon controllo dei costi e una gestione accurata durante tutte le fasi del progetto.

L'adozione di tecnologie all'avanguardia, come l'apprendimento automatico e l'analisi delle *features* geometriche, sta rivoluzionando il *workflow* BIM, accelerando i tempi di lavorazione e migliorando l'efficacia del processo di trasformazione dei dati grezzi in modelli parametrici pronti all'uso.

## 2. Stato dell'arte: strumenti e approcci per la conversione

Il concetto di “stato dell'arte” identifica l'insieme delle conoscenze, metodologie e tecnologie più avanzate in determinato ambito di ricerca. Esso non si limita ad un'analisi meramente descrittiva, implica una valutazione critica e comparativa di ciò che è già stato sviluppato, con l'obiettivo di mettere in evidenza i progressi compiuti e le lacune che richiedono ulteriori approfondimenti. In questo senso, lo stato dell'arte rappresenta il punto di partenza essenziale per lo sviluppo di nuove ricerche, fornendo una panoramica strutturata su quanto è già stato realizzato, sugli approcci adottati e sulle principali criticità ancora irrisolte.

Nel contesto della progettazione architettonica e del BIM, esso assume un ruolo rilevante nell'individuare i progressi tecnologici e le criticità. La crescente disponibilità di tecnologie di rilevamento tridimensionale ha aperto nuove prospettive per la modellazione digitale, rendendo possibile l'acquisizione di dati sempre più dettagliati. Tuttavia, la traduzione delle nuvole di punti grezze in modelli parametrici BIM rimane ancora una questione complessa, che richiede precisione, efficienza e gestione ottimale di grandi quantità di dati. Questo capitolo intende esplorare le tecniche, gli approcci metodologici, gli algoritmi e i software più avanzati per l'automazione delle nuvole di punti. L'obiettivo è quello di delineare direzioni future e opportunità di miglioramento in un settore in continua evoluzione.

## 2.1 Tecniche e approcci metodologici

Le tecniche e gli approcci metodologici per l'elaborazione e l'interpretazione delle nuvole di punti combinano processi tradizionali e innovativi, permettendo la trasformazione di dati grezzi in modelli digitali ricchi di informazioni. In particolare, è nell'ambito dell'H-BIM (*Heritage Building Information Modeling*) che si stanno sperimentando soluzioni avanzate, spinte dalla complessità e dalle esigenze specifiche del patrimonio culturale.

L'H-BIM si distingue perché specifico nella modellazione di edifici storici e monumenti, spesso caratterizzati da geometrie irregolari, materiali eterogenei e un elevato livello di degrado. Questi fattori richiedono tecniche di analisi e rappresentazione molto caratteristiche, spingendo la ricerca a sviluppare soluzioni innovative per gestire e interpretare dati complessi. La necessità di tutelare un patrimonio unico e non replicabile motiva lo sviluppo di strumenti innovativi che supportino la conservazione e la valorizzazione.

Un esempio significativo è il Colosseo di Roma, dove il rilievo dettagliato e la modellazione digitale hanno consentito non solo una documentazione accurata, ma anche lo sviluppo di strategie di restauro più efficaci e l'implementazione di esperienze interattive per i visitatori.

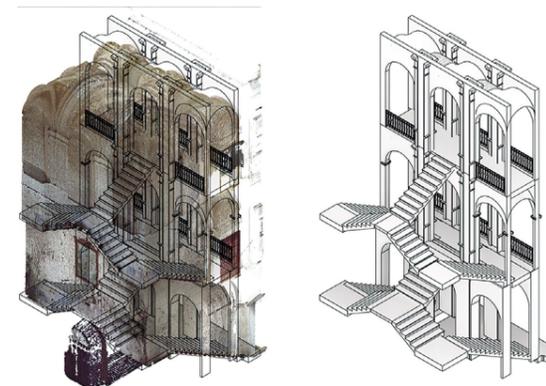
Sebbene l'H-BIM nasca con un focus specifico sul patrimonio storico-artistico, i risultati di queste sperimentazioni possono trovare applicazione anche in edifici di uso comune, come fabbricati residenziali, commerciali e industriali. Le tecnologie sviluppate per affrontare le complessità del patrimonio culturale possono, dunque, essere adattate ed estese a contesti ordinari per migliorare la gestione e la manutenzione del co-

struito, creando un ponte tra il patrimonio storico e l'edilizia contemporanea.

### 2.1.1 Scan-to-BIM e rilevamento TLS

Il processo *Scan-to-BIM* rappresenta una delle metodologie di crescente interesse nel panorama dell'architettura e dell'ingegneria, poiché consente di trasformare rilievi tridimensionali in modelli informativi digitali (BIM). Questa metodologia è particolarmente rilevante per edifici storici o complessi architettonici privi di documentazione aggiornata. Attraverso la combinazione di tecnologie avanzate, come la *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) e la fotogrammetria è possibile generare modelli tridimensionali dettagliati che rappresentano una base di riferimento per interventi progettuali, manutenzione o restauro.

Nel caso di Palazzo Nico, l'applicazione del *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) ha consentito di realizzare una documentazione estremamente dettagliata del sito, con un'attenzione particolare agli elementi di pregio quali i pavimenti decorati, le balaustre e la caratteristica scalinata ottocentesca. I rilievi, estremamente accurati e fedeli alla realtà, hanno rappresentato il punto di partenza per i successivi processi di modellazione, dimostrando l'efficacia del TLS in contesti storici caratterizzati da geometrie complesse e dettagli di elevato valore.



[Figura 8] Porzione dell'elaborazione architettonica BIM Authoring nel processo Scan-to-BIM. In Tavolare, R., Cabrera Revuelta, E., Verdoscia, C., & Buldo, M. (2023). A point cloud classification method for the ScanToBIM process in Architectural Heritage. *DisegnareCON*, 16(30). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.30.2023.20>

Le fasi che interessano il processo *Scan-to-BIM* sono le seguenti:

1. *Pianificazione del progetto*. Prima di iniziare, è essenziale definire chiaramente gli obiettivi del progetto, il livello di dettaglio richiesto (LOD) e il software BIM da utilizzare. Una pianificazione accurata permette di identificare le priorità, i requisiti delle parti interessate e le tempistiche per ciascuna fase.<sup>18</sup>

2. *Acquisizione dei dati*. L'acquisizione dei dati avviene tramite strumenti di rilievo 3D descritti in precedenza. Questi dispositivi catturano la geometria dell'edificio o dell'infrastruttura, generando una nuvola di punti dettagliata che rappresenta le condizioni reali. L'accuratezza dei dati acquisiti dipende dalla risoluzione dello scanner e dalla metodologia adottata durante il rilievo.<sup>19</sup>

3. *Pre-elaborazione dei dati*. Le *pointcloud* risultanti sono spesso troppo pesanti per un utilizzo diretto, motivo per cui devono essere sottoposte a una fase di ottimizzazione. Questo passaggio include:

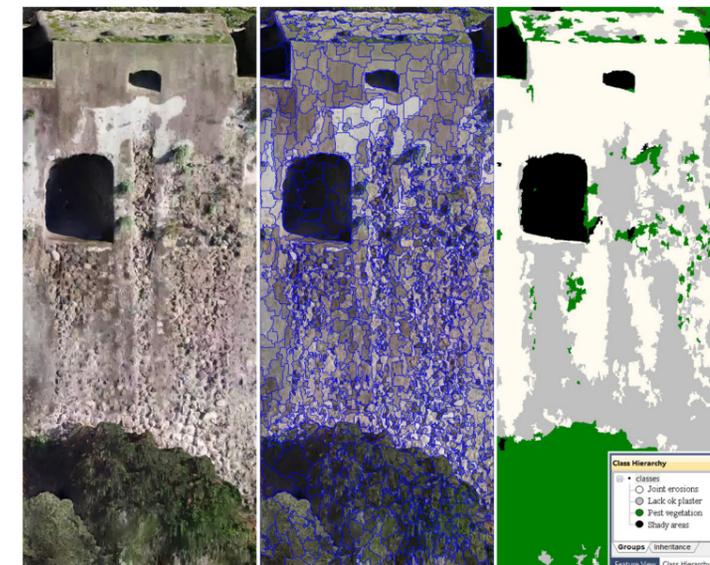
- Registrazione delle scansioni: allineamento e fusione di più nuvole di punti in un'unica rappresentazione unificata.
- Pulizia dei dati: eliminazione dei punti superflui, riduzione del rumore<sup>20</sup> e normalizzazione della densità della nuvola.
- Decimazione: riduzione del numero di punti mantenendo i dettagli essenziali.

4. *Importazione e modellazione BIM*. Una volta ottimizzata, la nuvola di punti viene importata in software specifici. Qui i dati servono come riferimento per creare un modello 3D parametrico. Questa fase consi-

ste nella modellazione manuale parametrica: l'utente identifica manualmente gli elementi costruttivi (muri, colonne, finestre, ecc.) e li modella utilizzando strumenti BIM.

5. *Validazione e verifica del modello*. Il modello BIM risultante viene confrontato con la nuvola di punti originale per assicurare che rifletta accuratamente le condizioni esistenti.

Questo *workflow* si rivela utile non soltanto per digitalizzare edifici complessi, ma anche per integrare informazioni specifiche, come potrebbero essere il degrado o le caratteristiche strutturali, nei modelli digitali. Un caso studio recente riguardante le fortificazioni del Castello Aragonese di Ischia<sup>21</sup> ha utilizzato il processo *Scan-to-BIM* per realizzare un modello 3D integrato, capace di combinare dati geometrici dettagliati e informazioni sul degrado delle superfici, molte delle quali difficilmente accessibili. Questo approccio ha permesso di documentare in modo accurato le caratteristiche strutturali e conservative del castello, fornendo una base per interventi di conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale.



<sup>21</sup> D'Auria, S., & D'Agostino, P. (2024). Scan-to-BIM and segmentation processes for the conservation of cultural heritage. A workflow proposal. *DisegnareCON*, 17(32). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.32.2024.13>

[Figura 9] Analisi del degrado tramite procedure di apprendimento automatico (ML). Da sinistra: parte dell'ortofoto ad altissima risoluzione; segmentazione; classificazione del degrado. In D'Auria, S., & D'Agostino, P. (2024). Scan-to-BIM and segmentation processes for the conservation of cultural heritage. A workflow proposal. *DisegnareCON*, 17(32). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.32.2024.13>

<sup>18</sup> United-BIM. *The Ultimate Guide: Scan to BIM*. Consultato a Dicembre 2024 da <https://www.united-bim.com/ultimate-guide-of-scan-to-bim/>

<sup>19</sup> *Ibidem*.

<sup>20</sup> Nel contesto della *pointcloud* e del rilievo tridimensionale, il termine "rumore" si riferisce a dati imprecisi, non rilevanti o errati durante il processo di scansione derivanti da errori strumentali, interferenza ambientali o superfici complesse o trasparenti (si pensa a materiali come vetro o superfici molto riflettenti come specchi)

### 2.1.2 Segmentazione semantica e classificazione

La segmentazione semantica e la classificazione delle nuvole di punti sono altre due tipologie di processi utili alla trasformazione dei dati grezzi in modelli utili per la documentazione e la gestione del patrimonio costruito.

La segmentazione semantica consiste nella suddivisione intelligente delle nuvole di punti, basata non solo su criteri geometrici, ma anche sul significato degli elementi individuati. Questa metodologia permette di isolare componenti specifiche come muri, colonne o aperture, attribuendo a ciascuna categoria una funzione precisa. Si tratta di una tecnica particolarmente utile per semplificare la modellazione, classificare gli elementi architettonici e migliorare la comprensione del contesto architettonico analizzato.

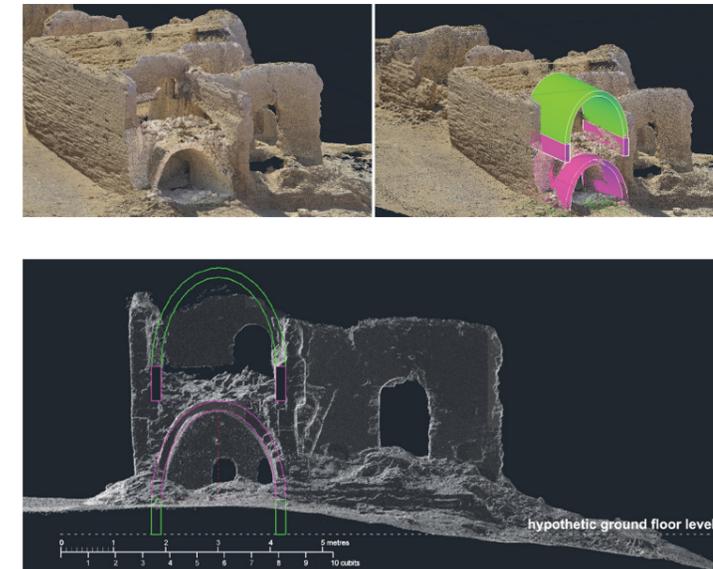
Un esempio significativo di applicazione è il rilievo 3D dell'insediamento romano di Umm al-Dabadib, in Egitto.<sup>22</sup> Questo sito archeologico caratterizzato da una fortezza centrale con costruzioni in mattoni di fango e volte a botte, ha richiesto un approccio basato sull'H-BIM per la ricostruzione virtuale. La segmentazione ha consentito:

- Decomposizione dell'architettura. Gli elementi del forte sono stati scomposti e classificati in macro-categorie;
- Classificazione degli elementi replicabili. Travi e pilastri sono stati trattati come elementi ripetibili;
- Gestione degli elementi non replicabili. Muri, volte a botte e aperture sono stati modellati come elementi "in-place" adattati alle geometrie specifiche del sito.

Ad esempio, le volte a botte, complesse e non replicabili, sono state modellate estrudendo un profilo derivato dalla *pointcloud* lungo l'asse longitudinale

delle stanze. L'intero processo è stato ulteriormente supportato da un'analisi metrologica basata sul cubito egizio riformato (circa 52-53 cm), utilizzato come riferimento per la modellazione.

L'applicazione della segmentazione semantica nel caso di Umm al-Dabadib ha reso più efficiente la modellazione di elementi complessi e supportato la creazione di un modello 3D parametrico. Inoltre, grazie all'uso di un sistema di misura preciso, è stato possibile interpretare meglio le proporzioni architettoniche e formulare ipotesi ricostruttive, migliorando così l'analisi e la comprensione dell'intero sito archeologico.



[Figura 10] In alto la nuvola di punti a sinistra e la ricostruzione geometrica della stanza voltata a destra. Il magenta è usato per la forma interpolata dalla nuvola di punti; il verde per l'ipotesi di ricostruzione modulare.

In basso le forme modulari verdi possono essere utilizzate per suggerire la posizione del piano terra e l'elevazione massima del tetto. In Fiorillo, F., & Rossi, C. (2021). 3D Parametric Modelling based on Point Cloud for the Interpretation of the Archaeological Remains. *DisegnareCON*, 14 (26). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.26.2021.2>

La classificazione semantica, complementare alla segmentazione, assegna un'identità specifica ai segmenti individuati. Ogni elemento viene arricchito con attributi che descrivono proprietà come il materiale, la funzione, lo stato di conservazione o altre caratteristiche rilevanti. Questo passaggio è essenziale nella creazione di modelli BIM, dove gli elementi non sono semplici rappresentazioni geometriche, ma veri contenitori informativi.

<sup>22</sup> Fiorillo, F., & Rossi, C. (2021). 3D Parametric Modelling based on Point Cloud for the Interpretation of the Archaeological Remains. *DisegnareCON*, 14 (26). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.26.2021.2>

Sia la segmentazione che la classificazione di nuvole di punti richiedono l'utilizzo di strumenti e metodologie avanzate come algoritmi semiautomatici e *machine learning*, in grado di gestire la complessità dei dati e garantire risultati accurati.

### 2.1.3 Analisi dei *features* 3D

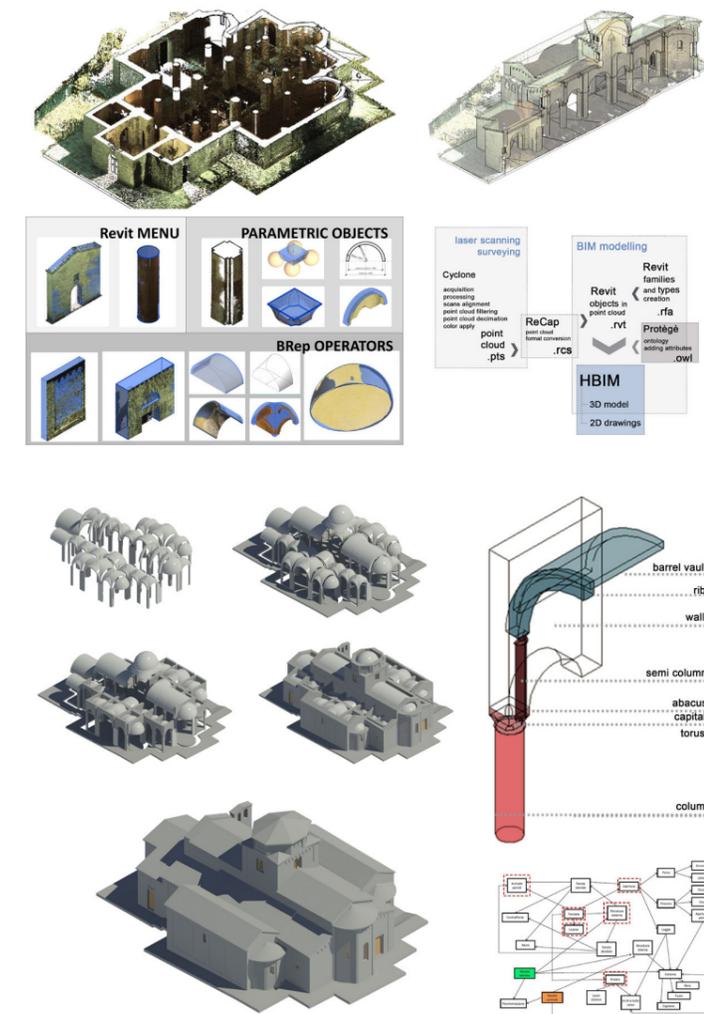
L'analisi dei *features* 3D si concentra sull'estrazione e sull'interpretazione delle caratteristiche geometriche di un modello tridimensionale. Questo processo identifica e descrive proprietà specifiche degli oggetti presenti all'interno di una nuvola di punti, come la curvatura, spigoli, piani, angoli e altre forme distintive che definiscono la loro struttura e il loro aspetto.

La curvatura di una superficie, ad esempio, è un parametro fondamentale per comprendere se una parete di un edificio sia concava, convessa o piana, mentre la rilevazione degli spigoli permette di individuare le giunzioni tra superfici o materiali differenti. Queste analisi non solo offrono una rappresentazione dettagliata della forma fisica degli oggetti, ma forniscono anche informazioni importanti per le successive fasi di modellazione e restauro. Nel caso di un edificio storico, ad esempio, l'analisi della curvatura può evidenziare informazioni sullo stato di conservazione, identificando aree che necessitano di interventi mirati.

Un caso significativo di applicazione di queste tecniche è la modellazione delle volte a crociera della chiesa di Santa Maria di Portonovo.<sup>23</sup> Questo esempio mostra come le *features* tridimensionali di una volta complessa, caratterizzata da superfici irregolari e geometrie intricate, richiedano approcci specifici per la loro analisi e modellazione. Gli algoritmi di modellazione di software come Revit hanno dimostrato limitazioni nella gestione di queste forme, costringendo i

progettisti a ricorrere a metodi alternativi, come l'uso di solidi e sottrazioni, per approssimare la geometria reale.

L'analisi geometrica delle volte ha permesso di identificare le curvature e le intersezioni tra le superfici, fornendo una base per una segmentazione accurata. A partire da queste informazioni, le volte sono state modellate nel BIM con un livello di dettaglio adeguato, integrando parametri che permettono la modifica e il riutilizzo delle geometrie. Questo processo evidenzia come l'analisi dei *features* 3D sia fondamentale non solo per rappresentare la forma fisica degli oggetti, ma anche per superarne le complessità legate alla modellazione.



[Figura 11] Fase di modellazione H-BIM nel software Revit. La mappatura degli oggetti nella nuvola di punti, alcuni oggetti parametrici e il workflow per la modellazione e la gestione semantica. In Quattrini, R., Clini, P., & Nespeca, R. (2016). Measurement and Historical Information Building: challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content. *DisegnareCON*, 9(16). <http://disegnarecon.uni-vaq.it>

[Figura 12] Segmentazione semantica dell'HBIM relativa alla Chiesa di Portonovo. In Quattrini, R., Clini, P., & Nespeca, R. (2016). Measurement and Historical Information Building: challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content. *DisegnareCON*, 9(16). <http://disegnarecon.uni-vaq.it>

<sup>23</sup> Quattrini, R., Clini, P., & Nespeca, R. (2016). Measurement and Historical Information Building: challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content. *DisegnareCON*, 9(16). <http://disegnarecon.uni-vaq.it>

#### 2.1.4 Machine Learning e Deep Learning: strumenti di supporto all'automazione nei workflow BIM basati su pointcloud

Il *Machine Learning* (ML) e il *Deep Learning* (DL) sono strumenti tecnologicamente avanzati emersi recentemente con l'obiettivo di offrire nuove possibilità per l'automazione e l'ottimizzazione dei processi di segmentazione e classificazione. Queste tecnologie consentono di affrontare con maggiore efficacia la complessità dei dati tridimensionali, riducendo i tempi di lavorazione e migliorando la precisione, con applicazioni particolarmente rilevanti nella modellazione digitale di edifici storici e nella conservazione del patrimonio culturale.

Il *Machine Learning*, una branca dell'Intelligenza artificiale, si basa sull'addestramento di algoritmi in grado di apprendere dai dati senza programmazioni esplicite. Attraverso l'addestramento di algoritmi su *dataset* etichettati<sup>24</sup>, dove ogni dato è associato ad una categoria specifica, i modelli ML possono analizzare nuovi dati e automatizzare operazioni complesse che altrimenti richiederebbero un intervento manuale. Nell'ambito delle nuvole di punti, questo significa ad esempio classificare automaticamente componenti di un modello 3D. Algoritmi ML possono distinguere superfici piane e curve o identificare dettagli architettonici come colonne, muri o soffitti, sfruttando proprietà geometriche quali la curvatura o la densità dei punti. Il *Deep Learning*, una sotto branca del *machine learning*, utilizza reti neurali<sup>25</sup> profonde (*Deep Neural Networks*, DNN) per analizzare i dati in modo gerarchico, come spiegato da IBM:

«Il *deep learning* simula il modo in cui il cervello umano elabora informazioni, individuando pattern complessi nei dati.»

Queste reti analizzano le informazioni attraverso molteplici strati, identificando caratteristiche sempre più astratte e complesse.

Le *Convolutional Neural Networks* (CNN)<sup>26</sup>, uno degli approcci più comuni nel *deep learning*, sono particolarmente efficaci per l'elaborazione delle nuvole di punti. Queste reti sono in grado di riconoscere automaticamente *pattern* geometrici come bordi, angoli e superfici, rendendole ideali per attività quali la segmentazione semantica e la classificazione automatica di modelli tridimensionali.

Un esempio concreto di applicazione delle CNN è riportato nello studio sull'*Architectural Heritage Elements Dataset* (AHE\_Dataset)<sup>27</sup>. Questo *dataset*, composto da oltre 10.000 immagini, include elementi come altari, absidi, campanili, colonne, cupole (interne ed esterne), archi rampanti e molte altre tipologie di elementi architettonici.

<sup>26</sup> Un tipo di rete neurale progettato per analizzare dati strutturati in forma di griglia, come immagini o modelli 3D, riconoscendo pattern geometrici come bordi o superfici.

<sup>27</sup> Llamas, J., Leronés, P.M., Medina, R., Zalama, E., & Gomez-Garcia-Bermejo, J. (2017). Classification of architectural heritage images using deep learning techniques. *Applied sciences*. Disponibile su <https://www.mdpi.com>

<sup>24</sup> Per "dataset etichettati" si intende un insieme di collezioni di dati in cui ogni elemento è associato a una categoria o classe specifica, utilizzate per addestrare algoritmi di *machine learning*.

<sup>25</sup> Una rete neurale è un modello computazionale ispirato al funzionamento del cervello umano. È costituita da una serie di nodi (o neuroni) organizzati in strati, che lavorano insieme per elaborare dati e identificare schemi complessi.

Categoria	Esempi
Altari (829 immagini)	
Apsidi (514 immagini)	
Colonne (919 immagini)	
Cupole interne (616 immagini)	
Volte (1110 immagini)	

[Figura 13] Esempi di immagini del dataset AHE. In Llamas, J., Leronés, P.M., Medina, R., Zalama, E., & Gomez-Garcia-Bermejo, J. (2017). Classification of architectural heritage images using deep learning techniques. *Applied sciences*. Disponibile su <https://www.mdpi.com>

Le CNN sono state addestrate a classificare automaticamente questi elementi utilizzando diverse architetture, tra cui AlexNet, Inception V3, ResNet e Inception-ResNet-v2.<sup>28</sup> Lo studio ha dimostrato che, grazie a tecniche di *fine-tuning*<sup>29</sup> su modelli pre-addestrati, è possibile ottenere un'accuratezza elevata anche con *dataset* di dimensioni moderate.

Il *Machine learning* e il *Deep learning* si completano a vicenda nell'elaborazione delle nuvole di punti. Il primo viene utilizzato per compiti di classificazione generale, mentre il secondo, con le sue reti neurali profonde, è capace di analizzare dettagli più specifici e complessi. Questa combinazione permette di creare modelli tridimensionali più completi e accurati, semplificando la segmentazione automatica e l'identificazione di elementi architettonici. Con l'evoluzione continua di algoritmi e reti neurali, è altamente probabile che il loro impatto sul settore delle costruzioni e del restauro cresca ulteriormente, aprendo nuove possibilità per una progettazione più intelligente e sostenibile.

<sup>28</sup> AlexNet, Inception V3, ResNet e Inception-ResNet-v2 sono tutte architetture di reti neurali convoluzionali (CNN) avanzate, progettate per risolvere problemi di classificazione delle immagini e altre attività di visione artificiale.

<sup>29</sup> Il *fine-tuning* è una tecnica di *machine learning* che prevede l'adattamento di un modello pre-addestrato a un nuovo compito specifico, continuando l'addestramento su un set di dati più ristretto. In questo modo, si sfruttano le conoscenze già acquisite dal modello su compiti generali, risparmiando tempo e risorse nel processo di addestramento per problemi più specifici. In Llamas, J., Leronés, P.M., dina, R., Zalama, E., & Gomez-Garcia-Bermejo, J. (2017). Classification of architectural heritage images using deep learning techniques. *Applied sciences*. Disponibile su <https://www.mdpi.com>

## 2.2 Strumenti e software per l'automazione delle nuvole di punti

L'automazione delle nuvole di punti rappresenta una delle sfide più significative nel contesto del BIM, in particolare quando si tratta di utilizzare le nuvole di punti, ottenute tramite rilievi laser scanner, all'interno degli *iter* di lavoro produttivi.

Il tradizionale approccio manuale per la costruzione BIM *as-built* è caratterizzato da numerosi limiti:

«Il processo manuale per la costruzione di BIM *as-built* è lungo, laborioso, noioso, soggettivo e richiede lavoratori qualificati.»<sup>30</sup>

Queste difficoltà evidenziano la necessità di implementare tecniche di automazione per semplificare e velocizzare il processo, soprattutto in contesti caratterizzati da un'elevata complessità o da grandi volumi di dati.

L'automazione, quindi, è percepita come una risposta efficace per ridurre le inefficienze del processo manuale:

«Queste osservazioni illustrano la necessità di semplificare il processo BIM *as-built* utilizzando tecniche semi-automatizzate e automatizzate.»<sup>31</sup>

L'obiettivo finale dell'automazione è lo sviluppo di un sistema che, a partire da una nuvola di punti, sia in grado di generare automaticamente un modello BIM *as-built*<sup>32</sup> completamente annotato e pronto per l'uso. Come sottolinea Tang et al. (2010):

«Idealmente si dovrebbe sviluppare un sistema che prenda come input una nuvola di punti di una struttura

<sup>30</sup> Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of *as-built* building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19, 829-843, p. 832.

<sup>31</sup> Ivi, p. 833.

<sup>32</sup> *As-built* si riferisce alla condizione di una struttura così come è stata effettivamente costruita, distinguendosi dal modello di progetto (*as-built designed*).

e produca come output un BIM as-built completamente annotato della struttura.»<sup>33</sup>

Grazie a strumenti avanzati oggi disponibili, alcune fasi del processo sono già completamente automatizzabili, mentre altre richiedono ancora un intervento minimo da parte dell'utente. Un ruolo importante in questo contesto è svolto dai metodi basati sull'apprendimento automatico, che stanno migliorando progressivamente l'efficienza e l'affidabilità delle procedure.

Tuttavia, nonostante il grande potenziale di queste tecnologie, permangono alcune criticità da risolvere per garantire una piena automazione. Rimane dunque evidente che l'intervento umano è ancora necessario in specifiche fasi del processo. Al tempo stesso, il settore ha compiuto progressi significativi negli ultimi anni: algoritmi inizialmente concepiti solo in ambito accademico sono ora integrati in strumenti commerciali, favorendo un miglioramento costante delle soluzioni disponibili.

Pur non essendo ancora una realtà pienamente consolidata, la prospettiva di una completa automazione si avvicina sempre più, apportando benefici concreti ai professionisti del settore e incrementando l'efficienza dei *workflow*.

In questo sottocapitolo verranno individuati e analizzati i principali software attualmente disponibili per l'elaborazione e l'automazione delle nuvole di punti, con particolare attenzione alle funzionalità offerte, ai benefici ottenibili e alle limitazioni che ancora devono essere affrontate, sottolineando come i progressi degli ultimi anni stiano trasformato le prospettive del settore.

<sup>33</sup> Tang, P., Huber, D., Akin, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19, 829-843, p. 833.

### 2.2.1 Software consolidati per l'elaborazione

L'elaborazione delle nuvole di punti è il primo passo per la creazione di modelli tridimensionali utilizzabili in ambito BIM. Questo processo trasforma i dati grezzi, acquisiti tramite scansione laser o fotogrammetria, in informazioni strutturate, necessarie per la progettazione, la gestione e l'analisi di edifici o altre infrastrutture. La lavorazione comprende diverse operazioni, tra cui l'allineamento delle nuvole, la riduzione del rumore, la segmentazione dei dati e la generazione di modelli 3D utilizzabili nei software di progettazione.

Attualmente, l'elaborazione delle nuvole di punti richiede ancora un notevole intervento manuale, soprattutto per attività complesse come la segmentazione, che permette di suddividere i dati in categorie più gestibili, come superfici piane o dettagli architettonici. Le tecnologie moderne presenti sul mercato, pur offrendo strumenti avanzati, non sono ancora in grado di automatizzare tutte queste fasi, e il processo può risultare molto dispendioso in termini di tempo, soprattutto quando i dati acquisiti sono di grandi dimensioni, come nel caso di scansioni che generano milioni di punti. Questo rende necessario l'uso di software specifici per gestire e trattare questi enormi volumi di dati in modo efficiente.

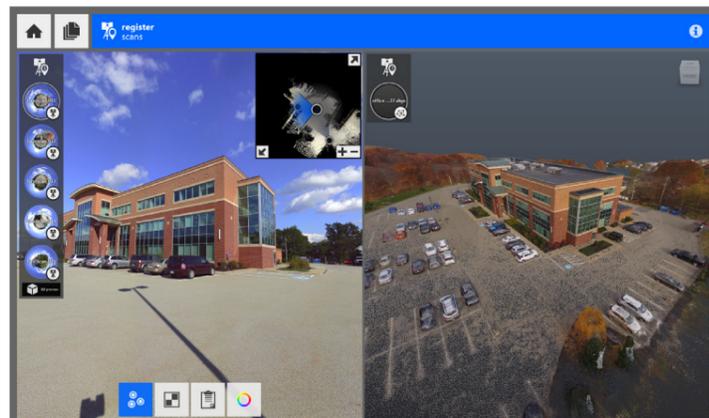
L'evoluzione tecnologica mira a semplificare l'intero *iter* di lavoro attraverso l'automazione dell'elaborazione delle nuvole di punti. Soluzioni future potrebbero integrare Intelligenza artificiale e algoritmi di apprendimento automatico per ridurre l'intervento umano, ottimizzare l'allineamento e la segmentazione dei dati e migliorare la qualità complessiva dei modelli generati. Inoltre, l'utilizzo di piattaforme *cloud* potrebbe ridurre i carichi computazionali<sup>34</sup> sui dispositivi locali, rendendo il processo di elaborazione più fluido ed efficiente.

<sup>34</sup> I carichi computazionali sono la quantità di risorse di calcolo richieste per eseguire un'operazione su un sistema informatico, come la CPU, la memoria RAM e la capacità di archiviazione. Rappresentano l'intensità e la complessità dei calcoli necessari per completare un processo, influenzando direttamente la velocità e l'efficienza del sistema.



## Autodesk ReCap

Autodesk ReCap rappresenta una soluzione integrata e altamente specializzata per l'elaborazione delle nuvole di punti all'interno del sistema Autodesk. Progettato per gestire grandi quantitativi di dati derivanti da scansioni laser e fotogrammetria, il software facilita operazioni come l'allineamento, la pulizia, la registrazione e la visualizzazione dei dati. Grazie alla sua integrazione con Autodesk Revit, software di modellazione BIM, ReCap è diventato uno strumento essenziale per integrare le nuvole di punti nei *workflow* BIM, consentendo agli utenti di importare e visualizzare le nuvole di punti direttamente all'interno di Revit, senza necessità di semplificazioni intermedie.



Un aspetto distintivo di ReCap è la sua capacità di lavorare direttamente con i dati grezzi, garantendo che il modello finale conservi un alto grado di dettaglio e precisione. In contesti complessi, come la modellazione HBIM di edifici storici, ReCap si dimostra particolarmente utile. Un esempio significativo, tratto dalla bibliografia, è l'utilizzo di ReCap nella chiesa di Santa Maria di Portonovo, dove il software ha facilitato l'allineamento delle nuvole di punti e la loro visualizzazione all'interno di Revit. Questa integrazione ha permesso di evitare semplificazioni eccessive dell'edificio garantendo una modellazione precisa che rispetta le

complessità strutturali del patrimonio edilizio storico.

Il processo di allineamento delle nuvole di punti in ReCap è ulteriormente supportato dalla presenza di ampie sovrapposizioni tra le nuvole stesse, garantendo la solidità e la coerenza del modello finale. In scenari di progettazione avanzata, come la creazione di modelli con oltre 300 milioni di punti, la robustezza di ReCap emerge chiaramente, permettendo agli utenti di gestire volumi di dati enormi senza compromettere la qualità del modello.<sup>35</sup>

Inoltre, la compatibilità di ReCap con il formato *.pts*<sup>36</sup> e la sua capacità di esportare i dati elaborati verso applicazioni BIM come Revit ampliano ulteriormente le possibilità di utilizzo, offrendo un *workflow* continuo e senza interruzioni. ReCap si presenta, quindi, non soltanto come uno strumento di visualizzazione, ma come una piattaforma avanzata che consente una gestione ottimizzata delle nuvole di punti.

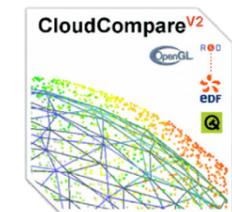
## CloudCompare

Diversamente da ReCap, che si inserisce in un contesto proprietario e integrato con il sistema Autodesk, CloudCompare è un software *open-source* che offre una vasta gamma di strumenti per l'elaborazione avanzata delle nuvole di punti e delle *mesh* 3D. La sua natura *open-source* e la flessibilità di utilizzo lo rendono particolarmente apprezzato in contesti di ricerca e in applicazioni che richiedono un elevato livello di personalizzazione. CloudCompare è utilizzato in vari settori, tra cui ingegneria civile, geodesia e conservazione del patrimonio culturale, dove la gestione di grandi quantità di dati 3D è un'esigenza fondamentale.

Una delle funzionalità di CloudCompare è la sua capacità di gestire nuvole di punti ad alta densità, con

<sup>35</sup> D'Auria, S., & D'Agostino, P. (2024). Scan-to-BIM and segmentation processes for the conservation of cultural heritage. A workflow proposal. *DisegnareCON*, 17(32). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.32.2024.13>

<sup>36</sup> Il formato *.pts* è un tipo di file utilizzato per memorizzare i dati delle nuvole di punti, ottenute tramite scansioni 3D. Ogni punto nel file è rappresentato da coordinate spaziali (X, Y, Z) e può includere altre informazioni, come l'intensità o il colore, a seconda della tecnologia di scansione utilizzata. È un formato comune per l'elaborazione e la visualizzazione delle nuvole di punti in software come Autodesk ReCap e CloudCompare, ed è spesso utilizzato nel contesto di rilievi 3D per creare modelli digitali di oggetti e ambienti.



[Figura 16] Logo di CloudCompare. In Cleanpng. Consultato a Maggio 2025 da <https://www.cleanpng.com/png-cloudcompare-point-cloud-computer-software-free-so-5222645/download-png.html>

[Figura 14] Logo di Autodesk ReCap Pro. In Autodesk. Consultato a Maggio 2025 da <https://www.autodesk.com/it/products/recap/overview>

[Figura 15] Interfaccia di Autodesk ReCap Pro durante la fase di registrazione delle scansioni. La schermata mostra la modalità di allineamento tra le scansioni acquisite da laser scanner terrestri. A sinistra, l'interfaccia consente la navigazione tra i diversi punti di scansione (faroScan\_011-015) attraverso immagini panoramiche. Al centro e a destra sono visualizzati, rispettivamente, una foto del contesto reale e la nuvola di punti risultante in vista 3D. Gli strumenti per l'allineamento e la gestione dei dati sono accessibili tramite le icone inferiori e laterali. In Autodesk. *Funzionalità di ReCap Pro 2026*. Consultato a Maggio 2025 da <https://www.autodesk.com/it/products/recap/overview>

strumenti avanzati per l'allineamento automatico e la registrazione di nuvole di punti provenienti da più scansioni. Grazie alla capacità di lavorare con dati georeferenziati e di eseguire calcoli di distanze tra le nuvole, CloudCompare è particolarmente indicato per applicazioni che richiedono una precisione metrica elevata, come il monitoraggio di deformazioni strutturali o la creazione di modelli 3D di terreni ed edifici.

Il software offre ancora una serie di strumenti per la segmentazione delle nuvole di punti che permettono di estrarre e classificare automaticamente differenti tipi di superficie (piane, curve e complesse) e per la generazione di *mesh* 3D a partire da nuvole di punti. Questa caratteristica lo rende estremamente versatile, ideale per applicazioni che richiedono una manipolazione avanzata delle geometrie 3D. La possibilità di esportare i modelli generati in formati compatibili con altri software BIM o CAD amplia ulteriormente il suo campo di applicazione, rendendolo uno strumento di supporto in molteplici fasi del ciclo di vita di un progetto edilizio.

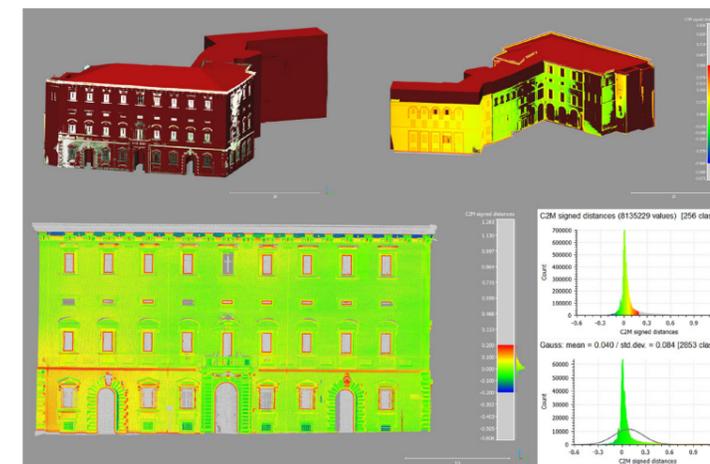
Nel contesto della modellazione HBIM, CloudCompare si è rivelato utile per la valutazione qualitativa e quantitativa dell'accuratezza dei modelli 3D BIM. Ad esempio, sempre nel caso della chiesa di Santa Maria di Portonovo<sup>37</sup>, il software ha permesso di confrontare il modello BIM con la nuvola di punti di riferimento, misurando le deviazioni geometriche e determinando l'accuratezza del modello rispetto alla realtà fisica. La possibilità di segmentare la nuvola di punti e il modello BIM in categorie specifiche, come colonne, volte e muri, ha permesso di condurre un'analisi mirata e dettagliata dell'accuratezza in relazione a specifiche parti dell'edificio.

<sup>37</sup> Quattrini, R., Clini, P., & Nespeca, R. (2016). Measurement and Historical Information Building: challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content. *DisegnareCON*, 9(16). <http://disegnarecon.univaq.it>

Nell'ambito della modellazione BIM, ReCap e CloudCompare svolgono ruoli complementari. ReCap è particolarmente utile nelle fasi iniziali del processo, dove facilita la gestione delle nuvole di punti e la modellazione in Revit, mentre CloudCompare entra in gioco successivamente, fornendo strumenti per la validazione del modello attraverso analisi comparative e misurazioni precise delle deviazioni tra il modello BIM e la nuvola di punti.

Nel caso del Palazzo Ferretti<sup>38</sup>, il rilievo laser scanner è stato condotto con 69 stazioni complessive (49 esterne e 20 interne), raggiungendo una risoluzione di 1 cm a 100 m, ridotta a 0,5 cm nelle aree di maggior dettaglio. L'allineamento di 78 scansioni ha prodotto una nuvola di circa 1,2 miliardi di punti, elaborata tramite target artificiali e l'algoritmo ICP, quindi ripulita dalle parti non necessarie.

La valutazione della precisione, eseguita con CloudCompare, è stata di tipo qualitativo: la distanza media tra il modello BIM e la nuvola di punti è risultata di 1 cm, con una deviazione standard di 16 cm. Un'analisi più dettagliata della facciata est ha evidenziato una distanza media di 4 cm e una deviazione standard di 7 cm.



<sup>38</sup> Quattrini, R., Clini, P., & Nespeca, R. (2016). Measurement and Historical Information Building: challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content. *DisegnareCON*, 9(16). <http://disegnarecon.univaq.it>

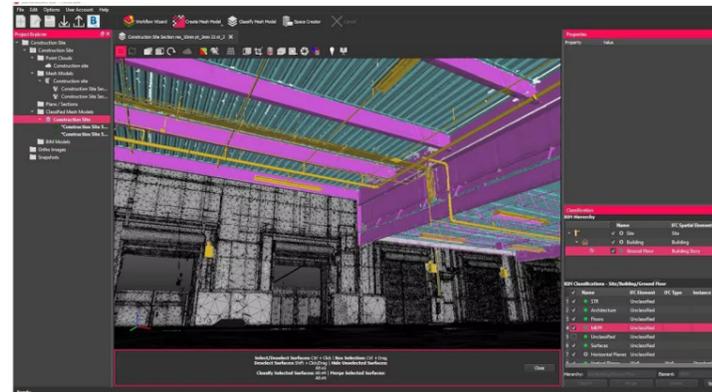
[Figura 17] Interfaccia di CloudCompare durante la fase di valutazione della qualità del modello BIM 3D del Palazzo Ferretti. In Quattrini, R., Clini, P., & Nespeca, R. (2016). Measurement and Historical Information Building: challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content. *DisegnareCON*, 9(16). <http://disegnarecon.univaq.it>

## 2.2.2 Soluzioni innovative per l'automazione

Nel contesto dell'automazione nel settore della progettazione e costruzione, diverse soluzioni innovative hanno guadagnato rilevanza negli ultimi anni, offrendo strumenti avanzati che migliorano l'efficienza e la precisione negli *iter* di lavoro. Di seguito vengono presentate alcune delle principali tecnologie e piattaforme che stanno trasformando il panorama dell'automazione.

### PointFuse

PointFuse è stato sviluppato da Arithmetica, una società britannica specializzata in soluzioni software per l'elaborazione di dati geospaziali.<sup>39</sup> Questo strumento consente di convertire i dati provenienti dalle nuvole di punti in modelli 3D segmentati e ottimizzati, rendendoli più accessibili e utilizzabili per l'integrazione negli *iter* di lavoro.



PointFuse si distingue per la sua capacità di automatizzare la trasformazione di grandi quantità di dati in modelli geometrici strutturati, riducendo notevolmente il tempo necessario per la modellazione manuale. Nel marzo 2024, Autodesk ha acquisito la tecnologia PointFuse, con l'intenzione di integrarla in Autodesk ReCap, ampliando ulteriormente la possibilità di acquisizione e gestione dei dati di realtà. Questo even-



[Figura 18] Logo di PointFuse. In PointFuse. Consultato a Maggio 2025 da <http://pointfusesupport.com/index.html>

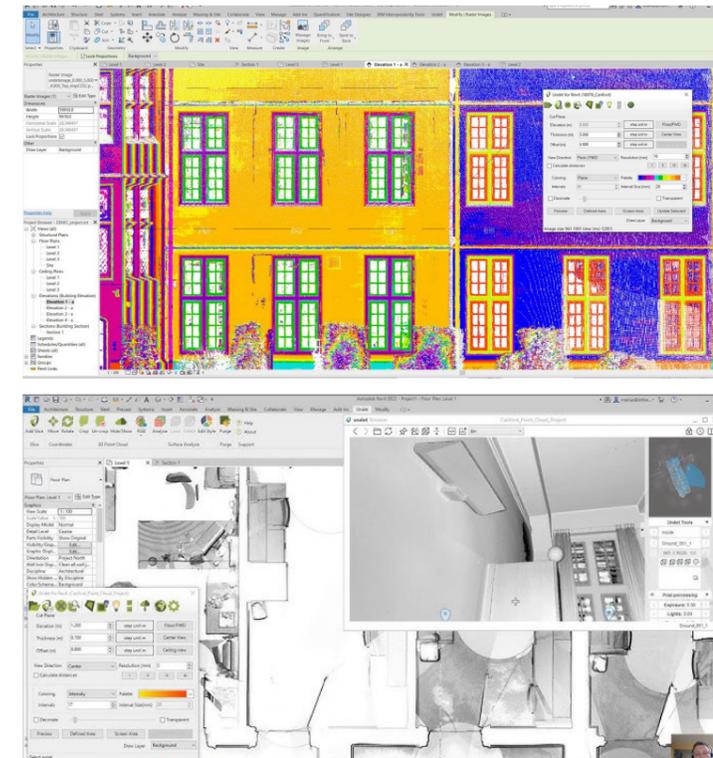
<sup>39</sup>GEO-MATCHING. PointFuse. Consultato a Gennaio 2025 da <https://geo-matching.com/companies/pointfuse/>

[Figura 19] L'interfaccia del software Pointfuse mostra la conversione automatica di una nuvola di punti in superfici piane colorate, ciascuna rappresentante elementi distinti della scena (pareti, soffitti, pavimenti, ecc.). In AEC Magazine. (5 Dicembre 2023). Autodesk acquires Pointfuse's core IP and technology. Consultato a Giugno 2025, da <https://aecmag.com/news/autodesk-acquires-pointfuses-core-ip-and-technology/>

to evidenzia l'importanza della tecnologia PointFuse nel semplificare e automatizzare il passaggio dai dati grezzi alle informazioni utilizzabili, un aspetto che potrà rivoluzionare il settore dell'architettura, dell'ingegneria e della costruzione.

### Undet for Revit

Undet for Revit è una piattaforma dedicata all'automazione dei flussi di lavoro per la progettazione parametrica. Con i suoi strumenti, permette di generare automaticamente geometrie complesse, riducendo il tempo di progettazione e migliorando l'accuratezza dei progetti finali. Una delle caratteristiche innovative di Undet è la sua capacità di personalizzare gli *iter* di lavoro in base alle esigenze dei singoli utenti o *team*, migliorando l'adattabilità del sistema ai progetti più complessi. La compatibilità con software di modellazione 3D di largo utilizzo (Autodesk Revit, Graphisoft Archicad) ne aumenta ulteriormente la versatilità e l'importanza nel panorama dell'automazione.



[Figura 20] Logo di Undet for Revit. Plugin progettato per integrare nuvole di punti direttamente all'interno dell'ambiente Autodesk Revit. In Undet for Revit. Consultato a Maggio 2025 da <https://www.undet.com/>

[Figura 21-22] Utilizzo di Undet for Revit all'interno di Autodesk Revit. In Undet for Revit. How to create and manage dynamic images. Consultato a Maggio 2025 da <https://www.youtube.com/watch?v=M-rg5rt0aqE>



### Design Automation API

Design Automation API, è una soluzione *cloud-based* che permette di automatizzare operazioni ripetitive e personalizzare processi operativi su file di progettazione. Pur non essendo specificatamente pensata per la gestione delle nuvole di punti, questa API<sup>40</sup> eccelle nell'automazione di attività legate alla progettazione *ex novo* o alla modifica di modelli già esistenti.

Grazie alla Design Automation API, gli sviluppatori possono creare applicazioni personalizzate che eseguono operazioni complesse su software come AutoCAD, Revit e Inventor come potrebbe essere la generazione automatizzata di disegni tecnici o modelli parametrizzati basati su *input* specifici, la conversione di file tra diversi formati o l'integrazione di processi di lavoro automatizzati per ridurre errori ed eliminare attività manuali ripetitive.

La scalabilità e la possibilità di eseguire operazioni nel *cloud* rendono la Design Automation API una tecnologia essenziale per aziende che cercano di ottimizzare i propri processi e migliorare la produttività.

L'integrazione di queste soluzioni innovative rappresenta un passo avanti significativo nell'automazione dei processi di progettazione e costruzione. PointFuse si distingue per l'elaborazione automatizzata delle nuvole di punti, trasformandole in modelli BIM utili per progetti basati su dati acquisiti. Undet for Revit contribuisce all'efficienza della progettazione parametrica, mentre la Design Automation API offre strumenti avanzati per l'automazione di processi operativi complessi e ripetitivi. Queste tecnologie combinate, spingono il settore verso una maggiore automazione, migliorando ogni fase del ciclo di vita del progetto e riducendo i costi e i tempi operativi.

[Figura 23] Logo di Design Automation API. In Autodesk. Consultato a Maggio 2025 da [https://aps.autodesk.com/en/docs/design-automation/v3/developers\\_guide/overview/](https://aps.autodesk.com/en/docs/design-automation/v3/developers_guide/overview/)

<sup>40</sup> Un'API (*Application Programming Interface*) è un insieme di regole e protocolli che consente a diverse applicazioni software di comunicare tra loro. In pratica, permette a un programma di "chiedere" a un altro programma di eseguire operazioni o fornire informazioni, senza bisogno che l'utente finale conosca i dettagli interni del funzionamento del software. Le API sono utilizzate per integrare funzionalità, automatizzare processi e scambiare dati tra sistemi diversi.

### 2.2.3 Strumenti per la parametrizzazione e la modellazione

Nel contesto dell'automazione della gestione delle *pointcloud*, Grasshopper e Dynamo si rivelano strumenti potenti per integrare e ottimizzare il *workflow* digitale, con particolare attenzione alla parametrizzazione delle geometrie derivanti dalle nuvole di punti. Questi strumenti, sebbene generalmente utilizzati per la modellazione parametrica, offrono anche funzionalità avanzate che possono essere applicate direttamente all'elaborazione delle *pointcloud*, semplificando e automatizzando processi complessi come la segmentazione, la classificazione e la conversione in modelli 3D parametrici.

#### Grasshopper per l'automazione della segmentazione delle *pointcloud*

Grasshopper, un ambiente di programmazione visuale originariamente integrato in Rhino, può essere utilizzato nel contesto BIM grazie al *plugin*<sup>41</sup> Rhino Inside. Revit, che consente di eseguire Rhino e Grasshopper direttamente all'interno di Revit. Questo collegamento permette di combinare la potenza della modellazione parametrica avanzata di Grasshopper con le capacità di gestione delle informazioni offerte dal BIM. Nell'ambito delle *pointcloud*, Grasshopper può essere utilizzato per:

- Estrarre geometrie parametriche direttamente dalle nuvole di punti, grazie a *script*<sup>42</sup> che identificano *pattern* ricorrenti (come muri, pavimenti, o elementi strutturali) e li trasformano in modelli modificabili.
- Automatizzare la segmentazione e il filtraggio dei dati della nuvola di punti, riducendo la complessità dei dati grezzi importati da scanner 3D.

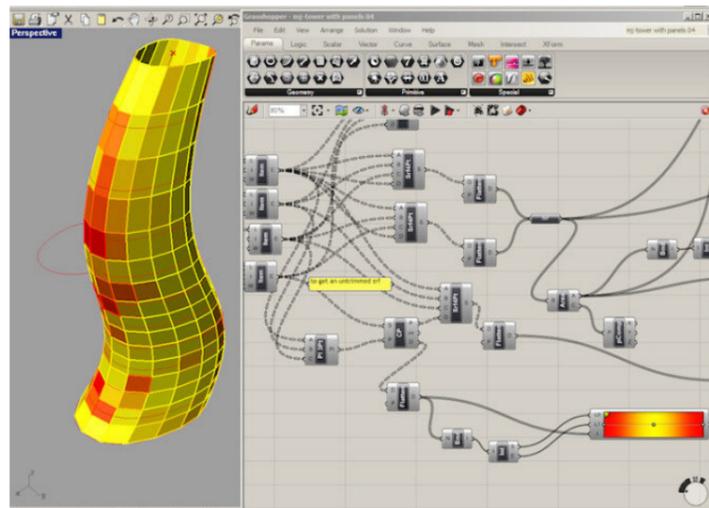


[Figura 24] Logo di Grasshopper. In Grasshopper. Consultato a Maggio 2025 da <https://www.grasshopper3d.com/>

<sup>41</sup> Per *plugin* si intende un componente software aggiuntivo che può essere integrato in un programma principale per estenderne le funzionalità o aggiungere nuove caratteristiche.

<sup>42</sup> Per *script* si intende un insieme di istruzioni scritte in un linguaggio di programmazione o di *scripting*, progettato per essere eseguito automaticamente da un software. Gli *script* vengono utilizzati per automatizzare processi ripetitivi, eseguire calcoli complessi o integrare funzionalità aggiuntive in un programma.

- Generare forme complesse da dati di *input* derivati dalle *pointcloud*, come la creazione di superfici curve o elementi architettonici non standard, che possono essere successivamente trasferiti a Revit come oggetti BIM.
- Implementare algoritmi di *clustering* per raggruppare punti con caratteristiche simili, facilitando l'analisi e la modellazione delle nuvole di punti.



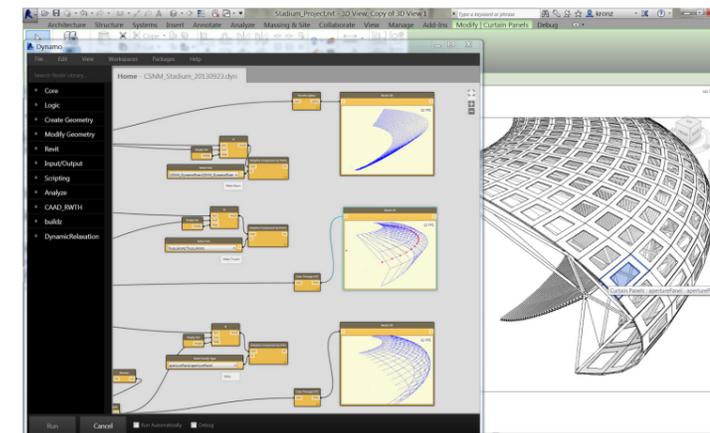
L'uso di Grasshopper per queste attività consente di affrontare in modo flessibile le sfide legate alla modellazione di geometrie complesse, sfruttando al contempo l'interoperabilità tra i diversi software.

[Figura 25] L'interfaccia del software Grasshopper mostra una superficie curva suddivisa in pannelli colorati in funzione di parametri controllabili, evidenziando l'interazione tra *input*, logica computazionale e *output* visivo. In Silva, P. T. (2019). *Sustainable city: From S3 to S5 city* [Conference paper]. Disponibile su [https://www.researchgate.net/publication/335778018\\_SUSTAINABLE\\_CITY\\_FROM\\_S3\\_TO\\_S5\\_CITY](https://www.researchgate.net/publication/335778018_SUSTAINABLE_CITY_FROM_S3_TO_S5_CITY)

## Dynamo per la parametrizzazione in Revit

Dynamo si distingue principalmente per l'integrazione con Revit. Per la gestione automatizzata delle nuvole di punti, Dynamo permette di convertire dati di nuvole di punti direttamente in geometrie parametriche, quali *mesh* o superfici, attraverso *script* che eseguono operazioni specifiche sulla base della geometria spaziale dei punti stessi.

Dynamo supporta la creazione di algoritmi personalizzati per il miglioramento della qualità dei dati della nuvola di punti, applicando filtri per la rimozione di rumore o per il rafforzamento di caratteristiche geometriche. L'integrazione con Revit consente di automatizzare il processo di generazione di modelli parametrici direttamente dalle *pointcloud*, rendendo il *workflow* più efficiente e riducendo i margini di errore derivanti da interventi manuali. Inoltre, grazie alla connessione con i modelli Revit, è possibile aggiornare automaticamente il modello 3D quando nuovi dati vengono importati, garantendo così una sincronizzazione continua con la realtà costruita.



Dynamo consente di integrare le *pointcloud* nel *workflow* BIM attraverso operazioni automatizzate, quali:

- Creazione automatica di oggetti BIM a partire dai dati delle nuvole di punti, utilizzando algoritmi che



[Figura 26] Logo di Dynamo. In Dynamo. Consultato a Maggio 2025 da <https://dynamobim.org/>

[Figura 27] Esempio di interfaccia di Dynamo utilizzata per la modellazione parametrica di uno stadio. Il workspace mostra una rete di nodi collegati per definire la geometria del progetto in ambiente BIM, dimostrando la capacità del software di gestire logiche complesse in maniera visiva. In Buildz. *Dynamo Stadium*. Consultato a Maggio 2025 da <https://buildz.blogspot.com/2014/01/dynamo-stadium.html>

analizzano la disposizione dei punti e generano elementi strutturali o architettonici.

- Semplificazione e segmentazione delle nuvole di punti, eliminando punti superflui o separando sezioni rilevanti per la modellazione.
- Automazione dei *workflow* per la verifica di collisioni, la generazione di documentazione o l'aggiornamento dei modelli basati su rilevamenti reali.

Grazie a Dynamo, è possibile integrare grandi *dataset* provenienti dalle nuvole di punti nel modello BIM in modo rapido e coerente, ottimizzando il tempo e riducendo l'errore umano.

L'utilizzo combinato di Grasshopper e Dynamo nel contesto del BIM consente di affrontare esigenze complesse di automazione, sfruttando le peculiarità di ciascuno strumento. Grasshopper si distingue per la flessibilità nella creazione di geometrie avanzate e nella gestione di algoritmi complessi, mentre Dynamo eccelle nell'integrazione diretta con Revit per la gestione delle informazioni del modello BIM. Questa sinergia potrebbe apportare diversi benefici al *workflow*, tra cui l'ottimizzazione del processo di modellazione parametrica basata su *pointcloud*, garantendo che le geometrie derivate siano accurate e integrate nel modello BIM; l'automazione di *task* ripetitivi e dispendiosi in termini di tempo, mantenendo un alto livello di personalizzazione negli *iter* di lavoro; la creazione di un collegamento diretto tra la realtà catturata (attraverso la *pointcloud*) e il modello digitale, migliorando l'accuratezza e la coerenza delle informazioni nel progetto.

### 3. Basic-Fit: un caso studio sull'ottimizzazione dei *workflow* BIM

In un contesto sempre più orientato all'efficienza operativa, il BIM si rivela uno strumento fondamentale per rivoluzionare i processi di progettazione e gestione degli spazi. Basic-Fit, *leader* europeo nel campo del *fitness*, è un esempio tangibile di come un approccio pragmatico verso l'innovazione possa soddisfare le richieste di un mercato in continua evoluzione. La ripetitività operativa e la standardizzazione che contraddistinguono i progetti dell'azienda forniscono un contesto ideale per esaminare come tecnologie all'avanguardia possano migliorare i *workflow* esistenti, mantenendo un equilibrio tra rapidità di esecuzione e qualità del risultato.

Questo capitolo si propone di offrire una visione dettagliata e organizzata su vari aspetti che caratterizzano Basic-Fit, partendo da una panoramica sulla storia, la missione e il modello imprenditoriale dell'azienda. Saranno analizzate le strategie operative che hanno permesso a Basic-Fit di distinguersi nel settore del *fitness*, evidenziando gli elementi determinanti che hanno contribuito al suo successo.

In seguito, si focalizzerà sui *workflow* attualmente impiegati per la progettazione e gestione delle palestre, ponendo particolare attenzione al contributo delle *pointcloud* e alle principali difficoltà operative riscontrate durante tali fasi. In conclusione, il capitolo rifletterà sul motivo per cui Basic-Fit rappresenti un contesto particolarmente rilevante per la ricerca, offrendo un esempio concreto di come l'efficienza operativa e la velocità di esecuzione possano essere migliorate attraverso soluzioni tecnologiche mirate.

### 3.1 Introduzione a Basic-Fit

La storia di Basic-Fit ha origine nel 1984, quando l'ex tennista professionista René Moos inaugurò i primi *fitness club* nei Paesi Bassi con il fine di promuovere uno stile di vita sano e attivo. Nel 2010, HealthCity, una catena di centri sportivi rinomata per il suo approccio orientato al benessere e alla salute con sedi in diverse città europee, riconobbe il potenziale del marchio Basic-Fit, che all'epoca contava 28 *clubs*. Decise quindi di acquisirlo, dando il via ad un'importante espansione internazionale. Oggi, Basic-Fit opera in sei Paesi europei con oltre 1.500 palestre, affermandosi come uno dei *leader* nel settore del *fitness* a basso costo.

La missione di Basic-Fit è rendere il *fitness* accessibile a tutti, offrendo un modello di abbonamento flessibile a basso costo combinato con attrezzature di alta qualità, lezioni di gruppo sia virtuali che dal vivo e l'uso gratuito dell'app Basic-Fit.<sup>43</sup>

Il modello *business* dell'azienda si basa su un approccio "*low cost, high value*", garantendo abbonamenti a prezzi competitivi senza compromettere la qualità dei servizi. La strategia punta su economie di scala, con l'apertura di *club* in aree urbane ad alta densità per massimizzare il numero di membri e ottimizzare i costi operativi. La standardizzazione delle strutture e delle procedure operative consente di mantenere elevati standard qualitativi e di sfruttare appieno i vantaggi delle economie di scala. Inoltre, l'uso della tecnologia gioca un ruolo fondamentale: sistemi di *check-in* automatizzati e strumenti digitali migliorano l'esperienza degli utenti e semplificano le operazioni.<sup>44</sup>

La standardizzazione è il pilastro della strategia di Basic-Fit. Ogni *club* segue un modello standard che otti-

mizza gli spazi e assicura una disposizione efficiente delle attrezzature. Le procedure operative, dalla gestione giornaliera alla manutenzione, sono uniformi in tutte le sedi, abbattendo i tempi di attuazione e le spese. L'uso di strumenti digitali per il monitoraggio delle performance e il supporto ai clienti è omogeneo in tutte le filiali, consentendo un controllo centralizzato. Grazie a questa strategia, Basic-Fit riesce ad aprire nuove palestre rapidamente, mantenendo un vantaggio competitivo nel settore.



[Figure 28 -29] Immagini renderizzate rappresentanti il *layout* standardizzato di un *fitness club* Basic-FIT. In Basic-FIT. *Media Resources*. Consultato a Febbraio 2025 da <https://corporate.basic-fit.com/media/media-resources>

<sup>43</sup> Basic-Fit. *About us*. Consultato a Gennaio 2025 da <https://corporate.basic-fit.com/about-us>

<sup>44</sup> Vizologi. *Basic-FIT's Company Overview*. Consultato a Gennaio 2025 da <https://vizologi.com/business-strategy-canvas/basic-fit-business-model-canvas>

### 3.2 Workflow attuale per la progettazione e gestione degli spazi

La realizzazione di un nuovo *fitness club* Basic-Fit segue un procedimento ben delineato, articolato in quattro macrofasi principali:

1. *Executive and Analyzing*
2. *Define and Planning*
3. *Executive and Accepting*
4. *Closing*

#### **Fase 1: Executive and Analyzing**

L'*iter* progettuale prende avvio con un'attenta ricerca di un edificio idoneo ad accogliere il nuovo *club*. Il reparto di espansione è incaricato di individuare strutture che rispondano a requisiti specifici, quali un'altezza minima di 3 metri e una superficie di almeno 1200 mq, così da garantire spazi adeguati alla configurazione tipica delle palestre Basic-Fit.

Una volta identificato un potenziale immobile, si procede con un rilievo dettagliato utilizzando strumenti avanzati come NavVis VLX2, che consente di ottenere una scansione precisa dello spazio. I dati raccolti vengono convertiti in una nuvola di punti e successivamente importati in Autodesk Revit per le fasi successive di progettazione.

#### **Fase 2: Define and Planning**

Questa fase rappresenta il fulcro della progettazione e comprende tutte le attività legate alla definizione e pianificazione dell'intero progetto, garantendo che tutti gli aspetti architettonici e tecnici siano adeguatamente strutturati in modo chiaro prima dell'inizio della fase esecutiva.

Il processo inizia con la generazione di un modello preliminare dell'edificio, noto come *casco*<sup>45</sup>, denominato *Task 2.8*. Questo modello include tutti gli elementi architettonici, partizioni interne, impianti MEP e

sistemi antincendio, costituendo così la base per le fasi progettuali successive.

Il passaggio successivo prevede il caricamento del progetto su Autodesk DOCS, una piattaforma *cloud* che facilita la gestione, l'archiviazione e la condivisione delle informazioni tra i vari *team* coinvolti. L'intero procedimento di lavoro pre-cantiere avviene attraverso questa piattaforma, garantendo un coordinamento efficace tra le fasi di progettazione e un rigoroso controllo della documentazione.

A partire dal modello preliminare, si passa alla *Task 2.11*, in cui l'impresa costruttrice sviluppa una proposta di *layout* per il *club*. Questo passaggio prevede la definizione della distribuzione degli spazi *fitness* e degli arredi standard, in linea con i *criteri* stabiliti da Basic-Fit. Il *layout* viene poi sottoposto alla revisione e all'approvazione dell'*Architectural Engineer* dell'azienda tramite Autodesk DOCS, garantendo la conformità agli standard aziendali.

Successivamente si entra nella *Task 2.22*, dedicata alla modellazione dettagliata del *club*. In questa fase vengono integrati nel progetto tutti gli elementi necessari alla realizzazione finale, tra cui finiture, attrezzature e componenti tecniche essenziali. Il modello definitivo, elaborato in Revit, consente anche di estrarre i dati fondamentali per la stima dei costi, segnando così l'ingresso nella terza fase del processo, quella esecutiva.

#### **Fase 3 e 4: Executive and Analyzing**

La fase esecutiva prevede l'attuazione di tutti gli aspetti progettuali definiti nelle fasi precedenti, fino alla realizzazione fisica del *club*. Infine, la fase di *Closing* rappresenta il momento conclusivo del processo, in cui viene verificata la piena conformità del progetto rispetto agli standard previsti e viene garantita la consegna di un *club* pronto per l'apertura al pubblico.

<sup>45</sup> *Casco* (dal neerlandese) in ambito edilizio indica la struttura grezza di un edificio, completata nella sua parte strutturale ma priva di finiture interne e impianti, simile al concetto di "grezzo" in italiano.

### 3.2.1 NavVis Ivion e Scan-to-BIM

Nel processo di trasformazione degli edifici destinati a diventare *club* Basic-Fit, il primo passo è la scansione dell'area utilizzando il NavVis VLX2, un avanzato sistema di mappatura mobile che consente di acquisire rapidamente una nuvola di punti dell'edificio. Questo rilievo diventerà una base di riferimento dettagliata per le successive fasi di progettazione.

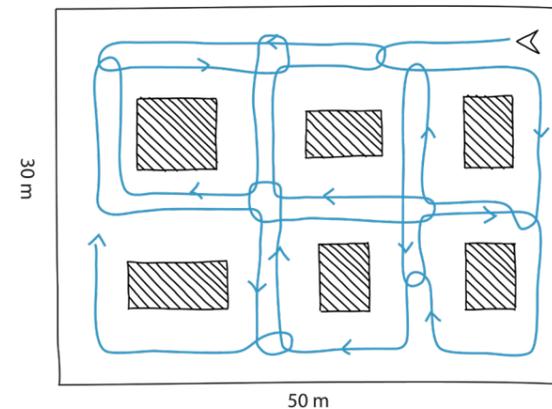
NavVis VLX 2 è un dispositivo indossabile dotato di sensori LiDAR rotanti a 360 gradi che rilevano in tempo reale la geometria dell'ambiente mentre l'operatore si muove al suo interno. Tuttavia, il movimento stesso dell'utente può causare errori nelle misurazioni, che nel tempo rischiano di accumularsi, compromettendo la precisione del modello. Per correggere queste imprecisioni, il sistema si avvale della tecnologia SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), che analizza la traiettoria percorsa e riconosce eventuali geometrie ripetitive, permettendo di calibrare e migliorare la precisione della nuvola di punti ottenuta.



[Figura 30] Utente con indosso il dispositivo portatile NavVis VLX 2, impegnato nella scansione di un ambiente complesso. In NavVis. *NavVis VLX 2*. Consultato a Febbraio 2025 da <https://www.navvis.com/vlx-2>

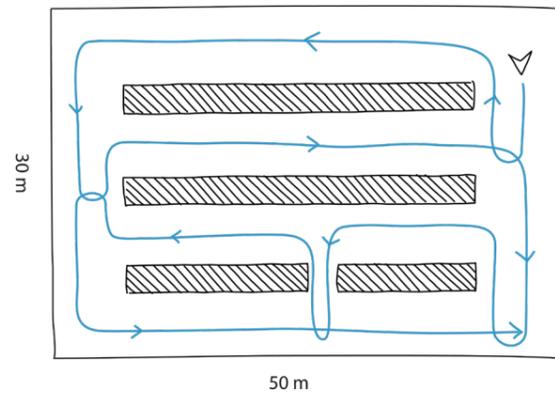
Affinché la scansione sia il più accurata possibile, è necessario porre l'attenzione su alcuni accorgimenti:

- Chiusura dei *loop*. Per minimizzare l'errore, è consigliato realizzare percorsi che si chiudano su se stessi ogni 15-30 metri. Questo accorgimento aiuta il sistema a identificare punti di riferimento comuni e correggere eventuali distorsioni accumulate. [Figura 31]
- Percorsi multipli. È preferibile effettuare percorsi chiusi ampi piuttosto che piccoli, così da migliorare la coerenza nei dati raccolti. [Figura 31]
- Ambienti complessi o ripetitivi. È importante porre particolare attenzione nelle aree caratterizzate da lunghe sequenze ripetitive, come corridoi o ambienti con pochi elementi di riferimento (es. parcheggi, spazi aperti), poiché in questi contesti il sistema SLAM potrebbe avere difficoltà nel mantenere alta la precisione. [Figura 32]
- Percorsi verticali. Quando si opera in edifici su più livelli, è utile chiudere i *loop* anche in verticale. Ad esempio, è consigliabile salire da una rampa di scale e scendere da un'altra, in modo da migliorare la continuità e la precisione della nuvola di punti. [Figura 33]

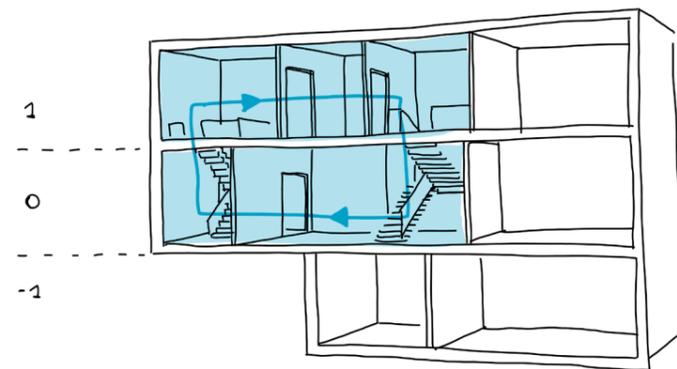


[Figura 31] Schema rappresentativo dell'importanza di eseguire ampi percorsi per una scansione più accurata. In NavVis. *Loop closures*. NavVis Knowledge Base. Consultato a Febbraio 2025 da <https://knowledge.navvis.com/docs/loop-closures>

[Figura 32] Schema rappresentativo delle chiusure ad anello nei corridoi. In NavVis. *Loop closures*. NavVis Knowledge Base. Consultato a Febbraio 2025 da <https://knowledge.navvis.com/docs/loop-closures>



[Figura 33] Schema rappresentativo delle chiusure del circuito su più piani. In NavVis. *Loop closures*. NavVis Knowledge Base. Consultato a Febbraio 2025 da <https://knowledge.navvis.com/docs/loop-closures>



Prima di procedere con la scansione, è importante predisporre adeguatamente l'area da rilevare seguendo alcuni accorgimenti:

- Ridurre al minimo la presenza di persone per evitare interferenze nei dati;
- Ottimizzare l'illuminazione per migliorare la qualità delle immagini acquisite;
- Assicurarsi che lo spazio sia ordinato e privo di elementi di disturbo;
- Rimuovere eventuali informazioni sensibili o riservate presenti nell'ambiente;
- Aprire tutte le porte per consentire una scansione fluida e completa degli ambienti;
- Mantenere almeno 1 metro di distanza dai muri per una rilevazione più accurata.

Oltre alla nuvola di punti, il NavVis VLX 2 registra immagini a 360 gradi che, una volta elaborate, vengono caricate sulla piattaforma NavVis Ivion.<sup>46</sup> Queste immagini si rivelano particolarmente utili in fase di modellazione, fornendo un riferimento visivo dettagliato per la comprensione e la gestione degli spazi rilevati.

Durante la scansione, i dati raccolti vengono organizzati in *dataset*. Per garantire una gestione ottimale, l'area viene suddivisa in più *dataset* di dimensioni ridotte, ognuno dei quali corrisponde a un tempo di percorrenza compreso tra i 30 e i 60 minuti. La strategia migliore prevede percorsi a struttura scatolare, che permettano la chiusura multipla dei *loop* e una maggiore precisione nella fase di allineamento dei dati. Terminata la fase di acquisizione, i *dataset* vengono caricati sulla piattaforma NavVis Ivion, che si occupa di elaborare e organizzare le informazioni raccolte. Una volta processati, i dati possono essere consultati e utilizzati per la modellazione e l'analisi dello spazio.

Il passaggio successivo consiste nell'integrazione dei dati acquisiti all'interno di un modello BIM. Attraverso il processo di *Scan-to-BIM*, la nuvola di punti viene trasformata in un modello digitale intelligente dell'edificio, non solo in termini di geometria, ma anche di caratteristiche funzionali e materiche. Questo modello non è semplicemente un risultato del rilievo, ma uno strumento di lavoro fondamentale lungo tutto il percorso progettuale e costruttivo.

Il modello BIM trova impiego in diverse applicazioni pratiche:

- Definizione del posizionamento delle telecamere per la sorveglianza remota;
- Individuazione dei punti ottimali per l'installazione di sensori di umidità e temperatura;

<sup>46</sup> NavVis. *NavVis VLX 2. Ready for anything*. Consultato a Febbraio 2025 da <https://www.navvis.com/vlx-2>

- Creazione di video e *rendering* per la presentazione degli spazi prima dell'inaugurazione del *club*;
- Verifica della conformità con gli standard Basic-Fit, evitando errori costruttivi e riducendo i tempi di intervento in cantiere;
- Collegamento a un *database* di prezzi per il calcolo dettagliato dei costi di materiali e delle lavorazioni necessarie;
- Rilevamento di interferenze tra elementi architettonici e impiantistici, operazione che risulterebbe molto più complessa con una rappresentazione bidimensionale.<sup>47</sup>

Grazie a queste funzioni, il modello BIM accompagna l'intero *iter* progettuale di Basic-Fit, dalla fase iniziale di rilievo fino alla realizzazione finale, migliorando l'efficienza e la coordinazione dell'intero progetto edilizio.

<sup>47</sup> Licata, L. (2024). *Augmented reality applied to the construction site* (Tesi di laurea magistrale, Rel. M. Lo Turco & J. Bono). Politecnico di Torino.

### 3.3 Opportunità di innovazione: automazione e ottimizzazione

L'implementazione di sistemi automatizzati nella progettazione e realizzazione dei *club* Basic-Fit rappresenta un'importante opportunità per ottimizzare i tempi di lavoro e ridurre il margine di errore. Attualmente, Basic-Fit impiega già alcune soluzioni di automazione, sviluppate da esperti del settore informatico, in particolare attraverso l'uso di Dynamo in Revit per diversi aspetti della modellazione BIM.

L'integrazione di *script* Dynamo consente di automatizzare molte operazioni all'interno del modello BIM, facilitando il lavoro dei *BIM Modeler*<sup>48</sup> e riducendo il tempo necessario per la modellazione manuale.

Tra le principali applicazioni si possono evidenziare:

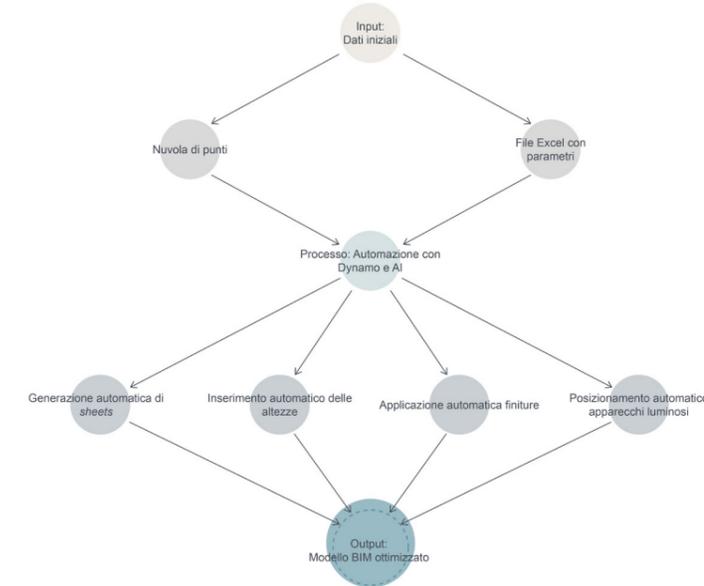
- Generazione automatica di *sheets* (fogli di stampa): elimina la necessità di creare manualmente le tavole di progetto, velocizzando la documentazione.
- Inserimento automatico dell'altezza delle stanze: sfrutta le *Room Tags* per assegnare l'altezza corretta a ciascuna stanza in base alla distanza tra il solaio e il soffitto. Senza questa automazione, Revit assegna un valore standard errato, che richiederebbe una correzione manuale in sezione. Lo *script* evita questa operazione ripetitiva, adattando automaticamente l'altezza della stanza alla sua reale dimensione nel modello.
- Applicazione automatica delle finiture delle pareti in base alla destinazione d'uso delle stanze: ad esempio, nella zona *cardio* viene applicata una finitura color tortora che parte dal pavimento al soffitto, mentre nell'area *free weight* viene aggiunta una protezione murale in pannelli in fibra di poliestere alta 130 cm e una finitura verde dal temine della protezione fino al soffitto.

<sup>48</sup> Il *BIM Modeler* è un professionista specializzato nella creazione e gestione di modelli digitali in ambito edilizio attraverso software BIM. Il suo ruolo prevede la trasformazione dei dati di rilievo in modelli 3D intelligenti, l'implementazione di standard progettuali e la verifica della coerenza geometrica e informativa degli elementi costruttivi. Nel contesto di Basic-Fit, il *BIM Modeler* si occupa della restituzione dei rilievi, dell'applicazione degli standard aziendali e dell'ottimizzazione dei processi di modellazione attraverso strumenti di automazione come Dynamo for Revit.

- Applicazione automatica delle finiture del pavimento: sempre in base alla destinazione d'uso delle stanze, ad esempio, nella zona *cardio* verrà inserita una pavimentazione in PVC mentre nella zona *free weight* una pavimentazione acustica e resistente agli urti in gomma riciclata.
- Applicazione automatica dei soffitti: sempre in base alla destinazione d'uso delle stanze, vengono applicati controsoffitti con caratteristiche specifiche. Ad esempio, nella *server room* viene inserito un controsoffitto resistente al fuoco per garantire una maggiore protezione degli impianti tecnologici e dei cavi in caso di incendio, riducendo il rischio di propagazione delle fiamme e proteggendo le apparecchiature sensibili. Al contrario, negli spogliatoi e nei bagni viene inserito un controsoffitto standard privilegiando la resistenza all'umidità.
- Inserimento automatico dell'illuminazione: permette di posizionare correttamente il tipo di apparecchio luminoso con la possibilità di modificarne la posizione successivamente, in base alle esigenze progettuali.
- AI Tool nella progettazione: sviluppato dal Politecnico di Torino su richiesta di Basic-Fit, nella *Task 2.11* permette di generare automaticamente proposte di *layout* per la disposizione degli ambienti caratteristici del *club*, adattandoli alla planimetria del rilievo per ottimizzare la configurazione degli spazi.

Queste automazioni consentono un notevole risparmio di tempo, poiché il *BIM Modeler* non deve occuparsi dell'inserimento manuale di ogni elemento, ma solo della verifica e dell'eventuale correzione di alcune imperfezioni quali, ad esempio, adattare la protezione murale dietro agli specchi, che vengono inseriti successivamente manualmente, nelle aree *fitness*

dove è richiesta un'altezza di 40 cm o riallineare le luci in base alla nuvola di punti in caso di modello *As-Built*. Gli *script* Dynamo sono supportati da file Excel, che contengono le informazioni e i settaggi necessari per l'implementazione dei parametri in modo corretto.



[Figura 34] Diagramma rappresentativo dell'automazione nel workflow BIM di Basic-FIT. Elaborato personale.

Nonostante i progressi nell'automazione della fase di progettazione, Basic-Fit non dispone ancora di sistemi automatizzati per la fase di restituzione del rilievo. Attualmente, l'intero modello 3D viene ricostruito manualmente dai *BIM Modeler*, con un tempo medio di completamento, in base alle dimensioni e alle caratteristiche architettoniche e impiantistiche, di circa 20 ore per edificio (equivalenti a due giornate e mezza di lavoro). Questo processo manuale rappresenta un potenziale punto di blocco, soprattutto considerando l'ambizione di Basic-Fit di espandersi rapidamente senza aumentare il numero di risorse nel *BIM team*. L'azienda, infatti, non basa il proprio *core business*<sup>49</sup> sulla modellazione BIM, ma sulla gestione e sviluppo di *club fitness*. Per questo motivo, non prevede investimenti significativi per un ampliamento del *BIM team*. Per sostenere una crescita più rapida, in particolare nel caso di espansione in altri paesi d'Europa o in al-

<sup>49</sup> Termine inglese che si traduce letteralmente in "attività principale" di un'impresa.

tri continenti del mondo, diventa fondamentale implementare soluzioni di automazione anche nella fase di restituzione del rilievo. Questo permetterebbe di ridurre i tempi di modellazione e garantire una maggiore efficienza e rapidità nei processi di apertura di nuovi *club*.

L'adozione di sistemi di automazione nella fase di restituzione del rilievo offrirebbe diversi benefici, tra cui:

- Riduzione dei tempi di modellazione, accelerando la consegna del modello BIM.
- Miglioramento della coerenza e della quantità dei dati, riducendo il rischio di errori manuali.
- Ottimizzazione delle risorse aziendali, permettendo ad un *team* ridotto di gestire un volume maggiore di progetti.

Per raggiungere questi obiettivi, si potrebbero esplorare diverse soluzioni, tra cui:

- Utilizzo di software di Intelligenza artificiale in grado di riconoscere automaticamente gli elementi architettonici e convertirli in oggetti BIM senza intervento manuale.
- Implementazione di *workflow* avanzati con Dynamo e API di Revit, per automatizzare la creazione del modello 3D direttamente dalla nuvola di punti.
- Sviluppo di strumenti di *machine learning*, capaci di identificare e classificare elementi ricorrenti all'interno della scansione, facilitando la modellazione.

L'introduzione di queste tecnologie permetterebbe a Basic-Fit di mantenere un processo di espansione rapido ed efficiente, semplificando il lavoro manuale dei BIM Modeler senza la necessità di ampliare il *BIM team*, garantendo al tempo stesso un'elevata qualità di modelli e una riduzione dei costi operativi.

### 3.4 Connessione tra Basic-Fit e il lavoro di ricerca

L'analisi dell'automazione e ottimizzazione nei processi BIM adottati da Basic-Fit non si limita a un caso studio isolato, ma si inserisce in un contesto di ricerca più ampio con implicazioni che possono estendersi a molteplici settori, in particolare il *retail*<sup>50</sup>.



L'implementazione di strategie di automazione nella progettazione e gestione degli spazi non è esclusiva del settore *fitness*, ma rappresenta un'opportunità significativa anche per altre realtà, come catene di negozi di abbigliamento, caffetterie e altri *brand* internazionali che basano il proprio modello *business* su un modello di espansione rapida e standardizzata.

Le metodologie sviluppate e applicate da Basic-Fit per ottimizzare la gestione degli spazi, ridurre i tempi di modellazione e migliorare la coerenza dei dati possono trovare applicazione in altri contesti come Zara, Starbuck's o McDonald's, dove l'efficienza nella progettazione e realizzazione dei nuovi punti vendita è essenziale per mantenere competitività sul mercato. L'automazione di processi ripetitivi, la garanzia di standardizzazione e la riduzione dei tempi di implementazione di nuove sedi rappresentano un vantaggio strategico applicabile a diversi ambiti.

Dal punto di vista della ricerca, questo approccio evi-

[Figura 35] "Go for it" rappresenta il motto di Basic-Fit, un'esortazione ad agire con determinazione, a superare i propri limiti e a perseguire i propri obiettivi senza esitazioni. In italiano, il motto può essere tradotto come "Datti da fare!" o "Buttati!", esperimento un incoraggiamento a intraprendere un'azione con convinzione. In Basic-Fit.Consultato a Gennaio 2025 da <https://corporate.basic-fit.com/about-us>

<sup>50</sup> Il termine "*retail*" si riferisce al settore della vendita al dettaglio, che comprende tutte le attività legate alla distribuzione e commercializzazione di beni e servizi direttamente ai consumatori finali. Questo settore include una vasta gamma di attività, dai negozi fisici alle piattaforme e-commerce, ed è caratterizzato dalla necessità di efficienza operativa, standardizzazione e velocità di espansione, specialmente per le catene internazionali.

denza l'importanza di sviluppare strumenti digitali sempre più versatili, capaci di adattarsi a diverse esigenze settoriali. L'integrazione di Intelligenza artificiale, *machine learning* e algoritmi di automazione nella gestione del processo edilizio non solo migliora le performance operative, ma apre la strada a nuovi modelli di lavoro, dove l'efficienza e la scalabilità diventano elementi essenziali per la crescita di un'azienda.

L'esperienza di Basic-Fit rappresenta un esempio concreto di come la digitalizzazione e l'ottimizzazione dei processi possano trasformare lo sviluppo e la gestione degli spazi fisici, contribuendo a definire delle prassi ottimali applicabili a un'ampia gamma di settori. La ricerca in questo ambito assume, dunque, un valore strategico per il futuro dell'industria del *retail* e oltre, dimostrando che l'innovazione digitale non si limita alla progettazione architettonica, ma può diventare un motore di trasformazione per interi modelli di *business*.

#### 4. *Workflow* per la conversione automatizzata: un caso concreto

Terminata la fase teorica, dedicata all'analisi delle tecnologie esistenti e dei principali metodi per integrare le nuvole di punti nei processi BIM, questa parte della tesi si focalizza sull'applicazione concreta delle competenze apprese. L'obiettivo è mettere alla prova, su un caso studio reale, alcune delle soluzioni attualmente esistenti per automatizzare, o almeno semplificare, la fase di modellazione a partire da rilievi tradizionali. A seguito di un'attenta ricerca, sono stati selezionati tre software, attualmente disponibili sul mercato e progettati per lavorare in ambiente Revit, che promettono di assistere l'utente nella gestione delle nuvole di punti: FARO As-Built for Revit, Undet for Revit e Prevu3D. Nonostante le scelte siano ancora limitate, questi strumenti offrono spunti interessanti per valutare l'effettiva possibilità di velocizzare i tempi di modellazione e ridurre l'intervento manuale.

Nel corso del capitolo verranno confrontati i *workflow* tradizionali e quelli automatizzati, verrà proposta un'operazione pratica e mostrati i risultati della sperimentazione. L'obiettivo finale è capire quale delle soluzioni testate risulti il più efficace per raggiungere un buon equilibrio tra precisione, velocità e ripetibilità del processo.

## 4.1 Confronto tra *workflow* tradizionali e automatizzati

Nel contesto della modellazione BIM a partire da nuvole di punti, il concetto di *workflow*, già trattato in precedenza, si ricorda riferirsi all'insieme ordinato di operazioni necessarie alla trasformazione del dato grezzo (*pointcloud*) in un modello tridimensionale informativo. Questa fase è fondamentale nel processo di digitalizzazione del costruito, poiché ha un impatto diretto su tempi, costi e qualità del risultato finale.

I *workflow* tradizionali prevedono una serie di operazioni fortemente manuali: si inizia con la scansione laser, si continua con la registrazione e la pulizia delle nuvole di punti, e infine si modella manualmente utilizzando software BIM, frequentemente ricostruendo gli elementi singolarmente sulla base delle geometrie visibili. Questo metodo, se da un lato garantisce un controllo puntuale sul risultato, dall'altro è estremamente soggetto all'interpretazione dell'operatore e richiede un elevato livello di competenza.

Secondo Tang et al. (2010)<sup>51</sup>, i *workflow* tradizionali presentano limiti significativi in termini di scalabilità e ripetibilità, risultando spesso inadeguati per processi che necessitano di velocità o siano progettati prelevate quantità di strutture simili. In aggiunta, la dipendenza dal fattore umano condiziona la coerenza del risultato finale, rendendo complicata la standardizzazione del processo.

Questo approccio risulta, dunque, poco efficiente quando si lavora su un gran numero di edifici o su progetti molto simili tra loro, situazione tipica di aziende che operano in ambito *retail* o logistico, come nel caso di Basic-FIT.

Negli ultimi anni, lo sviluppo di strumenti capaci di

automatizzare (parzialmente o totalmente) la fase di modellazione ha aperto strada a nuove opportunità. software come FARO As-Built per Revit, Undet per Revit, o ambienti di *visual scripting* come Dynamo e Grasshopper offrono soluzioni che diminuiscono l'intervento manuale, automatizzando il riconoscimento di superfici piane, l'estrazione di forme geometriche primarie o la creazione di oggetti BIM in modo parametrico.<sup>52</sup>

Studi come quelli di Volk et al. (2014)<sup>53</sup> sottolineano come l'obiettivo principale dei *workflow* automatizzati non sia tanto quello di eliminare completamente l'intervento umano, ma di iniziare a pensare ad un modo per alleggerirlo e renderlo più efficiente. Si tratta, in altre parole, di trasformare un processo manuale e iterativo in un percorso in cui l'utente agisce più come supervisore, intervenendo solo per correggere o confermare scelte effettuate in automatico.

Nonostante ciò, la piena automazione risulta ancora lontana, in particolare quando ci si confronta con geometrie complesse o non standardizzate. Le tecnologie attuali sono in effetti più performanti su strutture semplici e ripetitive, come edifici industriali o commerciali, in cui l'uniformità geometrica e la regolarità nella costruzione facilitano l'elaborazione automatica delle nuvole di punti.

In questo scenario, il confronto tra *workflow* tradizionali e automatizzati si traduce in un bilanciamento tra l'accuratezza e la rapidità: mentre i primi garantiscono una maggiore fedeltà ai dati rilevati, i secondi si adattano meglio in situazioni in cui la velocità di restituzione è un fattore determinante, anche a spese di una leggera imprecisione.

Nel caso di Basic-Fit, dove ogni nuovo club segue standard progettuali predefiniti e dove i tempi di aper-

<sup>52</sup> Per "*visual scripting*" si intende una modalità di programmazione che non richiede la scrittura di codice tradizionale, ma si basa su interfacce grafiche in cui l'utente collega tra loro nodi o blocchi funzionali. Questo approccio consente di creare logiche complesse e automazioni in modo intuitivo e accessibile anche agli utenti che non hanno le competenze di programmazione avanzata. Esempi diffusi in ambito BIM sono Dynamo per Revit e Grasshopper per Rhino.

<sup>53</sup> Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.

<sup>51</sup> Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-builts building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19, 829–843, p. 833.

<sup>54</sup> Il termine "time-to-market" si riferisce al tempo necessario per sviluppare un prodotto o una soluzione e renderlo disponibile sul mercato. In un contesto aziendale, ridurre il "time-to-market" significa essere in grado di rispondere alle esigenze dei clienti, migliorando la competitività e l'efficienza operativa.

tura sono estremamente ridotti, l'implementazione di un *workflow* automatizzato porterebbe ad una notevole diminuzione del *time-to-market* <sup>54</sup>. In aggiunta, una standardizzazione superiore consente anche un miglior controllo della qualità e una più facile integrazione nel processo BIM dell'azienda.

In sintesi, il confronto tra i due metodi vuole dimostrare come l'automazione possa costituire una risposta concreta per ottimizzare efficienza, coerenza e scalabilità, anche se comporta un investimento iniziale in formazione e strumenti.

Parametro	<i>Workflow</i> tradizionale	<i>Workflow</i> automatizzato
Tempo di modellazione	Alto	Medio-basso
Dipendenza dell'operatore	Molto elevata	Limitata
Ripetibilità del processo	Scarsa	Alta
Accuratezza	Variabile, dipende dall'operatore	Elevata (se il software è ben configurato)
Costo iniziale	Basso (ma alto in ore/individuo)	Medio (licenze + formazione)
Scalabilità	Limitata su grandi numeri	Elevata (ideale per progetti ripetitivi)

[Figura 36] Confronto sintetico tra il *workflow* tradizionale e quello automatizzato, che evidenzia come l'automazione migliori l'efficienza, la ripetibilità e l'accuratezza del processo di modellazione, riducendo il carico di lavoro manuale e i costi a lungo termine, sebbene comporti un investimento iniziale maggiore in software e formazione. Elaborato personale.

## 4.2 Strumenti per l'automazione: panoramica comparativa

Come rivelato dal confronto tra *workflow* tradizionali e automatizzati, l'implementazione di strumenti specifici per la gestione delle nuvole di punti e la loro trasformazione in modelli BIM costituisce un punto focale nella ricerca di soluzioni più rapide, standardizzabili e meno legate all'intervento manuale. In questo sottocapitolo viene presentata una prima analisi comparativa dei principali software attualmente disponibili sul mercato per gestire questa fase delicata del processo.

La selezione dei software discussi nei paragrafi successivi è stata eseguita considerando sia la loro disponibilità sul mercato, sia il grado di maturità raggiunto in termini di interoperabilità con ambienti BIM e capacità automatica di elaborazione delle nuvole di punti. Pur non essendo completa, la selezione si focalizza su tre strumenti rappresentativi, che consentono di coprire approcci differenti sull'automazione:

- **Undet for Revit**, un *plugin* pensato per integrare funzionalità di gestione e modellazione direttamente all'interno di Autodesk Revit;
- **FARO As-Built for Revit**, una soluzione altamente professionale sviluppata per combinare rilievo laser e modellazione BIM;
- **Prevu3D**, una piattaforma emergente che sperimenta un'interfaccia 3D interattiva e un *workflow* semplificato per utenti non esperti.

Ogni programma verrà valutato in base alla sua struttura operativa, alle funzioni principali fornite, al livello di automazione realmente conseguibile e ai requisiti tecnici necessari. L'intento non è semplicemente presentare una descrizione tecnica degli strumenti, ma soprattutto analizzarne il potenziale applicativo in si-

tuazioni reali mediante l'utilizzo diretto su un caso studio comune.

Questa fase segna, quindi, un passaggio dall'approccio teorico a quello pratico: dai principi generali dell'automazione, si arriva ad una sperimentazione concreta, in cui ogni strumento è testato in base agli stessi criteri. Le osservazioni emerse saranno successivamente oggetto di analisi critica nel capitolo seguente, dove saranno messi in luce i punti di forza, i limiti e le possibilità di miglioramento.

#### 4.2.1 Undet for Revit

Undet for Revit è un *plugin* progettato per potenziare il processo *Scan-to-BIM* all'interno di Autodesk Revit. Questo strumento consente agli utenti di visualizzare e modellare direttamente le nuvole di punti, facilitando la creazione di modelli BIM accurati e dettagliati.<sup>55</sup> Si inserisce nel contesto di un *workflow* semi-automatizzato, in cui l'utente guida e verifica le operazioni di riconoscimento delle forme geometriche, avvalendosi di funzioni avanzate di "fit" che consentono l'adattamento diretto alla nuvola di punti.

Tra le principali funzionalità si possono identificare:

- **Strumenti di modellazione assistita:**

Undet consente di creare elementi architettonici in Revit (muri, pilastri, aperture) attraverso selezioni dirette nella nuvola. I comandi essenziali includono:

- *Fit Wall*: consente di selezionare una parte della nuvola di punti corrispondente a un muro e creare automaticamente un oggetto muro in Revit. Il programma identifica l'orientamento, lo spessore e l'altezza del muro, anche in caso di deformazioni o inclinazioni.

- *Fit Column*: rileva pilastri cilindrici o rettangolari e li converte in oggetti parametrici, supportando sia pilastri verticali che inclinati. Questa funzione si dimostra estremamente vantaggiosa in edifici industriali o prefabbricati, dove i pilastri sono elementi strutturali presenti ripetutamente.

- *Fit Opening*: riconosce aperture nei muri come finestre e porte modellandole in accordo con le lacune individuate nella nuvola di punti. Il software ne determina dimensioni e posizionamento, semplificando notevolmente la modellazione delle aperture nei muri, rilevando direttamente gli spazi vuoti presenti nella nuvola di punti.

Questi strumenti migliorano il processo di modellazione e riducono in modo significativo la possibilità di errori umani, pur mantenendo un controllo manuale da parte dell'utente.

- **Visualizzazione *raster* e gestione della nuvola di punti:**

Riguardo alla visualizzazione e gestione della nuvola di punti, Undet lavora convertendo porzioni di nuvola di punti in immagini *raster* 2D da utilizzare nelle viste piante o sezioni, ottimizzando le prestazioni e consentendo una navigazione più fluida anche in progetti di grande scala. Le *pointcloud* possono inoltre essere sezionate dinamicamente con strumenti di *clipping*<sup>56</sup> per isolare aree di lavoro specifiche.

- **Controllo della qualità mediante *Deviation Map*:**

Un'ulteriore funzione estremamente utile offerta dal software riguarda il controllo della qualità, grazie alla possibilità di generare una mappa di deviazione tra il modello BIM e la nuvola di punti. Questo strumento mette in evidenza le discrepanze tra ciò che è sta-

<sup>56</sup> Per "strumenti di clipping" si intendono funzioni che permettono di isolare e visualizzare solo una porzione della nuvola di punti, nascondendo temporaneamente le parti non rilevanti per facilitare l'analisi e la modellazione.

<sup>55</sup> Undet. Point Cloud software. *Professional Software and Support for Reality Capture Projects*. Consultato a Marzo 2025 da <https://www.undet.com/>

to modellato e quanto è stato rilevato, permettendo un'accurata verifica della precisione geometrica.

#### 4.2.2 FARO As-Built for Revit

Come Undet for Revit, anche FARO As-Built for Revit è un'estensione professionale sviluppata per migliorare l'interazione tra le nuvole di punti e ambiente BIM in Autodesk Revit. Creato da FARO Technologies, il software si caratterizza per l'alta precisione e per le molteplici funzioni mirate all'estrazione di geometrie complesse alla gestione efficiente dei dati di rilievo. È pensato per utenti che necessitano di strumenti avanzati di modellazione parametrica basati su dati ottenuti da laser scanner 3D.

L'obiettivo principale di As-Built è consentire di automatizzare o semplificare l'attività di modellazione mediante l'utilizzo di un *set* di comandi dedicati agli elementi architettonici, strutturali e impiantistici, nonché di strumenti in grado di controllare e verificare l'accuratezza geometrica.

- **Funzioni principali di modellazione assistita:**

FARO As-Built offre una serie di strumenti semi-automatici che consentono di estrarre entità direttamente dalla nuvola di punti, tra cui:

- *Wall by Section e Wall by Face*: consentono di creare muri verticali o inclinati partendo da sezioni 2D ricavate dalla nuvola di punti o da superfici tridimensionali, utili nei casi in cui le pareti presentano deformazioni irregolari.

- *Create Pipes / Ducts / Cable Trays*: funzioni specifiche per la modellazione MEP, capaci di identificare e convertire percorsi esistenti nella nuvola di punti in oggetti parametrici corrispondenti, migliorando tempi

e uniformità.

- *Insert Windows and Doors*: l'utente ha la possibilità di collocare aperture riconosciute nel *cloud* e legarle a famiglie Revit standard. Il posizionamento è assistito e le dimensioni sono consigliate in base agli spazi vuoti rilevati.

- *Floor by Region*: consente di modellare solai o pavimentazioni direttamente da una selezione orizzontale della nuvola, adattandosi anche a forme irregolari.

- **Strumenti di supporto e controllo:**

- *Orthophoto Generation*: il software consente di produrre ortoimmagini ad alta risoluzione direttamente dalla nuvola di punti, utili per il disegno su piante o prospetti, oppure per estrazioni 2D accurate in ambienti complessi.

- *Deviation Analysis*: attraverso questa funzione, è possibile confrontare il modello BIM creato con la nuvola di punti iniziale, generando una mappa di deviazione che mette in evidenza le discrepanze tra l'oggetto modellato e i dati reali.

- *Snap to Point Cloud*: funzione che migliora la precisione nel disegno, consentendo di "agganciarsi" ai punti della nuvola di punti durante la modellazione in Revit.

#### 4.2.3 Prevu3D

Prevu3D è una piattaforma innovativa per la gestione, l'elaborazione e la visualizzazione immersiva di nuvole di punti in ambienti tridimensionali. A differenza dei *plugin* BIM tradizionali o dei software di elaborazione tecnica, Prevu3D si distingue per un'interfaccia estremamente *user-friendly* e una modellazione semplifi-

cata, rivolta a utenti che necessitano di esplorare e documentare spazi reali senza necessariamente creare un modello parametrico o aderente ai vincoli tipici della progettazione BIM.<sup>57</sup>

Prevu3D non offre, però, una modellazione parametrica vera e propria, come quella richiesta nei *workflow* BIM professionali. La cosiddetta funzione di “*Modeling by Clicking*” permette infatti la creazione di geometrie base (muri, pilastri, arredi, impianti) attraverso la selezione manuale di superfici all’interno della *pointcloud*, ma si tratta di oggetti non parametrizzati (*mesh* tridimensionali), privi di attributi informativi e relazioni semantiche. Le geometrie risultano utili per la documentazione visiva e la navigazione interattiva, ma non sono idonee per l’integrazione in un *workflow* BIM automatizzato o per la generazione di modelli informativi interoperabili.

- **Funzionalità principali:**

- *Modeling by Clicking*: modellazione manuale di geometrie semplificate sulla nuvola di punti tramite riconoscimento di superfici piane e “*snapping*” ai principali assi ortogonali.

- *Live Meshing*: consente di trasformare rapidamente parti della nuvola di punti in *mesh* 3D, utili per la navigazione, la documentazione o l’esportazione verso altri ambienti software.

- *Measurement & Annotation Tools*: Prevu3D permette di eseguire misurazioni dirette e aggiungere annotazioni 3D nello spazio, producendo documentazione visiva utile per *team* multidisciplinari o per clienti non esperti.

- *Layer Management & Object Classification*: gestio-

ne dei livelli e classificazione elementare degli oggetti per facilitare l’organizzazione e l’*export*.

- Esportazione verso BIM e CAD: i modelli possono essere esportati in formati standard (.ifc, .obj, .fbx, .step), ma non mantengono né parametricità né metadati informativi.

- **Un approccio orientato alla realtà aumentata e alla collaborazione:**

Uno degli aspetti più innovativi di Prevu3D è la sua predisposizione verso tecnologie di realtà virtuale (VR) e condivisione su *cloud*, che rendono possibile la collaborazione remota in ambienti immersivi, la valutazione del progetto da parte di soggetti esterni senza l’uso di software specifici e la navigazione in tempo reale all’interno di ambienti industriali, *retail* o logistici già scansionati.

Nonostante l’innovatività e le interessanti funzionalità di esplorazione, Prevu3D non è stato selezionato per la fase di sperimentazione all’interno del presente lavoro, in quanto non risponde all’obiettivo specifico della ricerca, ovvero la velocizzazione del processo di modellazione parametrica a partire da *pointcloud*. L’assenza di strumenti di segmentazione avanzata e la natura non parametrica della modellazione offerta lo rendono inadatto alla costruzione di modelli BIM intelligenti, interoperabili e automatizzabili.

La scelta è quindi ricaduta su strumenti che integrano o supportano la conversione strutturata della nuvola di punti in oggetti BIM, come nel caso di software dotati di funzioni di segmentazione automatica, riconoscimento semantico o *scripting*.

<sup>57</sup> Prevu3D. *Using tools*. Consultato ad Aprile 2025 da <https://doc.prevu3d.com/docs/using-tools>

## 4.3 Caso studio: progetto Basic-Fit

### 4.3.1 Descrizione del caso studio e obiettivi del test

Il caso studio si riferisce ad uno spazio commerciale situato in Homerusplein 12, Heerlen (Paesi Bassi), all'interno del centro 't Loon. L'edificio commerciale si sviluppa in altezza e si presenta come un complesso multifunzionale a destinazione prevalentemente commerciale in uno dei quartieri più centrali e ben collegati della città. Lo spazio sul quale verte l'analisi rientra nel lotto che ospiterà, in futuro, il *fitness club* Basic-Fit.

L'area si sviluppa su un solo piano, corrispondente al livello di ingresso del centro commerciale, con una superficie complessiva di circa 1200 m<sup>2</sup>. La sua struttura è caratterizzata da pilastri circolari in calcestruzzo e presenta ampie vetrate continue lungo il perimetro. Lo spazio è attualmente inattivo ma in buono stato, in attesa della prossima riconversione ad uso *fitness*. Il rilievo eseguito ha riguardato il piano interno destinato a Basic-Fit e le facciate esterne dell'edificio.

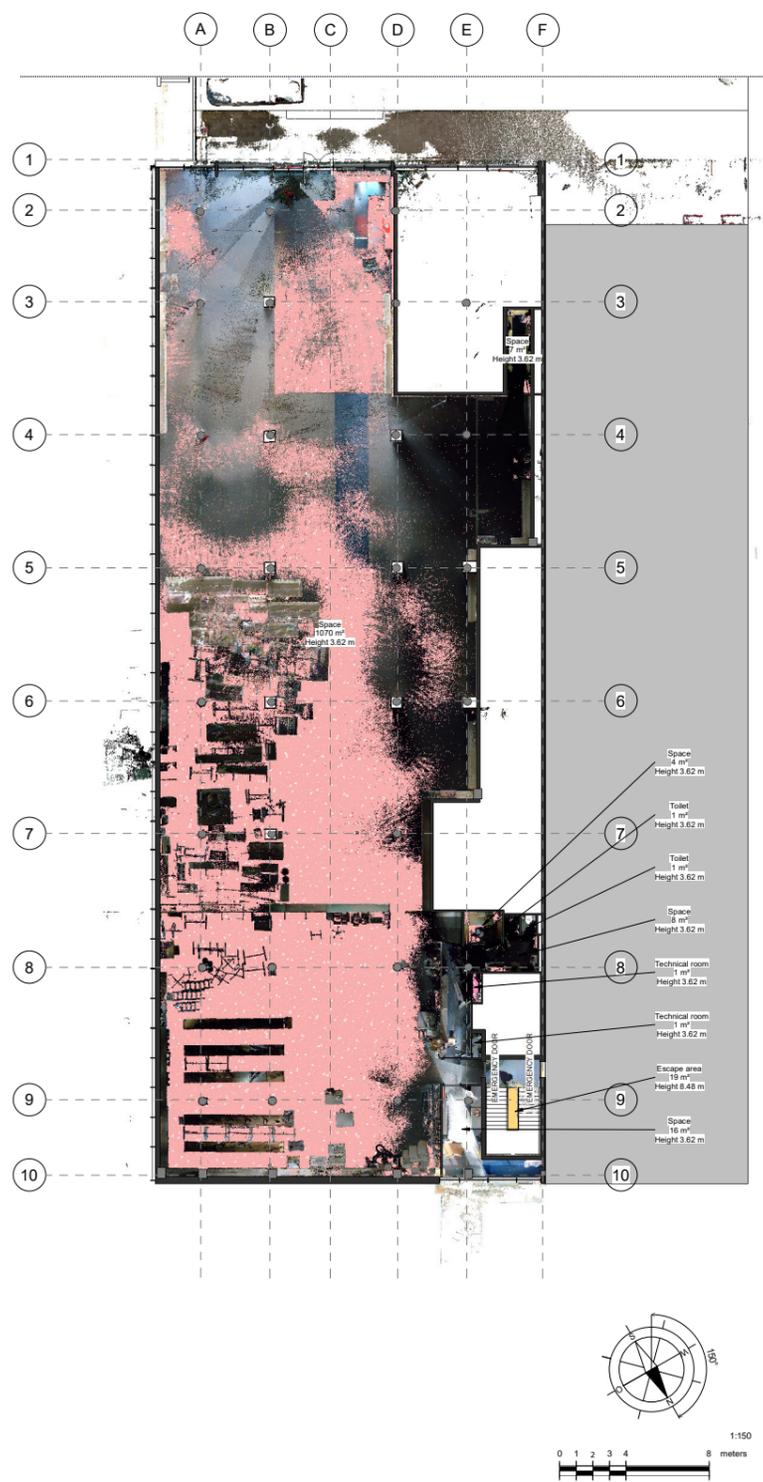
Questo tipo di spazio rappresenta una tipica tipologia architettonica standardizzata e ricorrente per l'azienda Basic-Fit, il che lo rende ideale per testare le metodologie di modellazione digitale automatizzata.



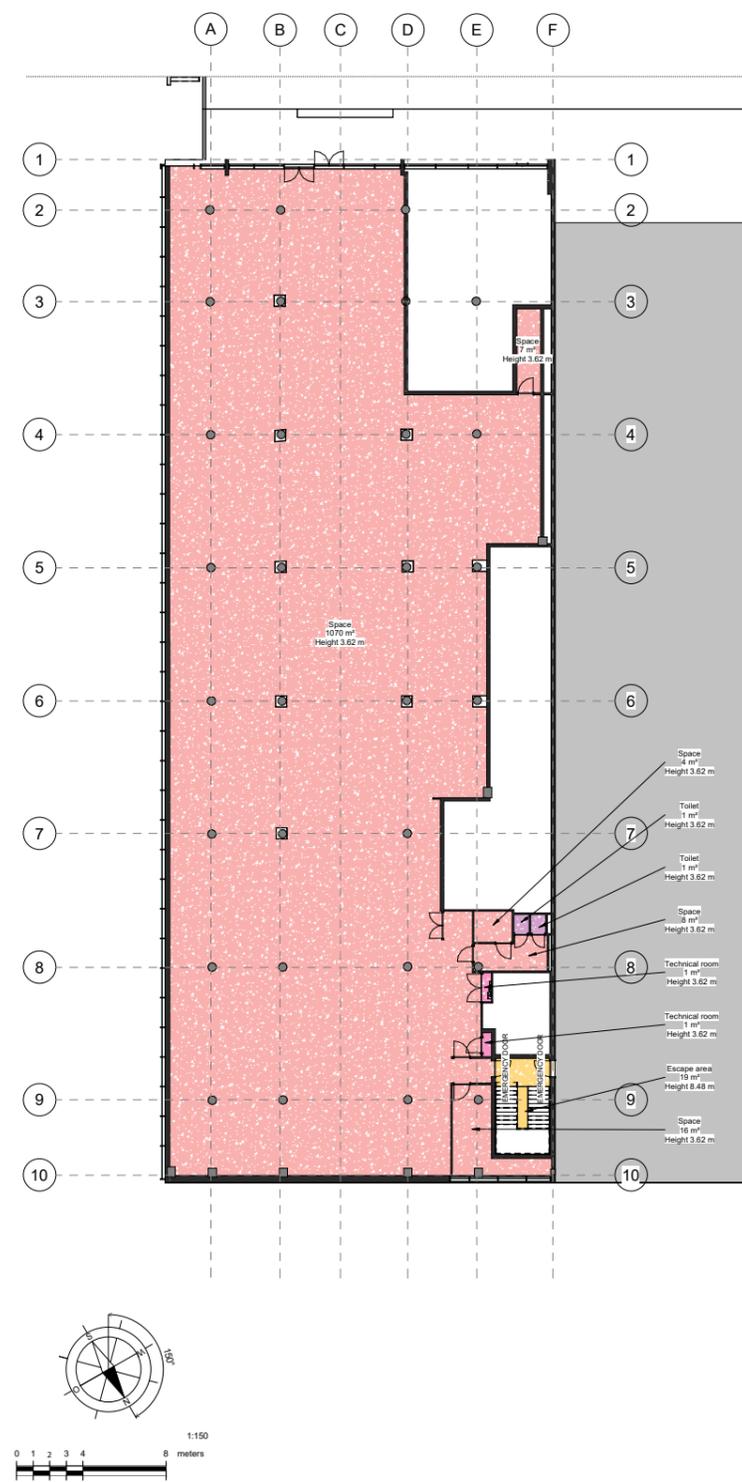
[Figura 37] Vista aerea dell'edificio situato in Homerusplein 12, Heerlen, estratta da Google Earth. L'immagine mostra l'inquadramento urbano dell'edificio all'interno del centro commerciale 't Loon. La porzione evidenziata corrisponde allo spazio oggetto del caso studio, che verrà destinato alla futura palestra Basic-Fit.



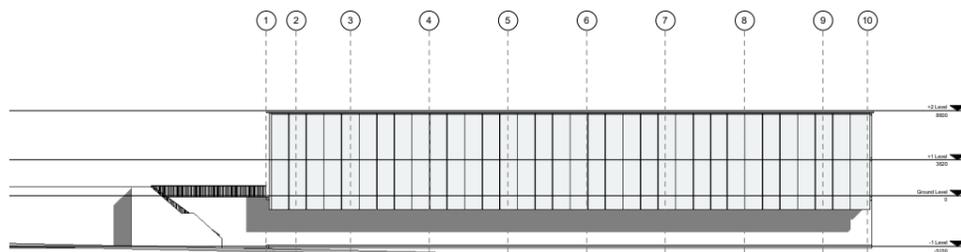
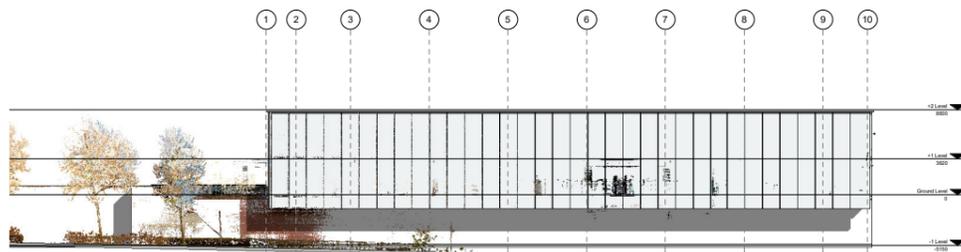
[Figura 38] Basic-Fit (2025). Nuvola di punti rappresentante il caso studio scelto situato a Heerlen, Paesi Bassi. Scansione gentilmente concessa da Basic-Fit per la tesi di laurea, a.a. 2024-2025.



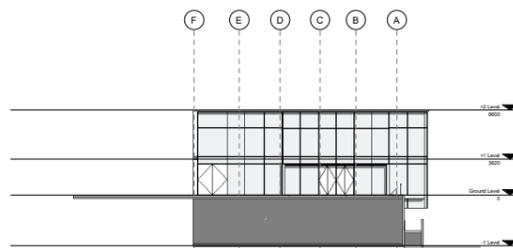
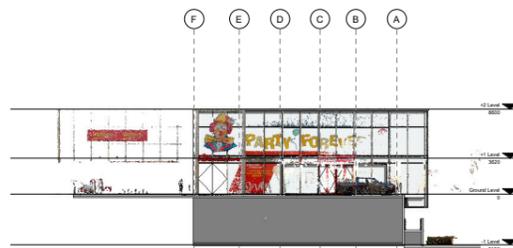
[Figura 39] Sovrapposizione della nuvola di punti alla planimetria dello stato di fatto. La stessa planimetria dello stato di fatto viene qui presentata con la sovrapposizione della nuvola di punti ottenuta tramite rilievo laser scanner. L'immagine evidenzia la coerenza tra la geometria rilevata e il modello digitale, costituendo una base per l'analisi della corrispondenza spaziale tra i dati acquisiti e la modellazione BIM. Elaborato personale.



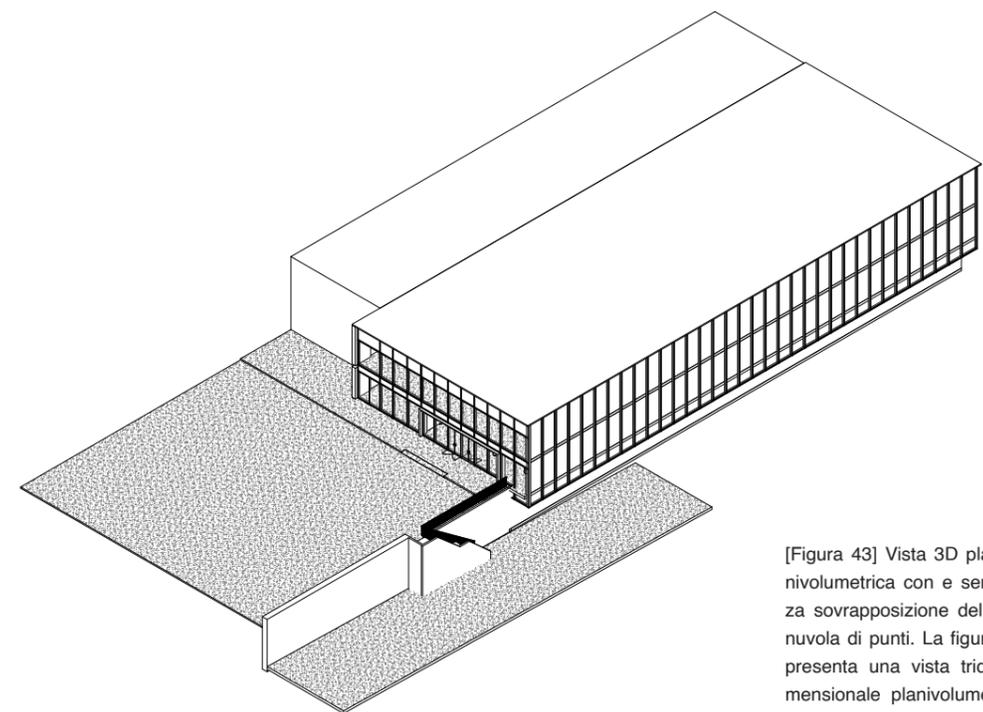
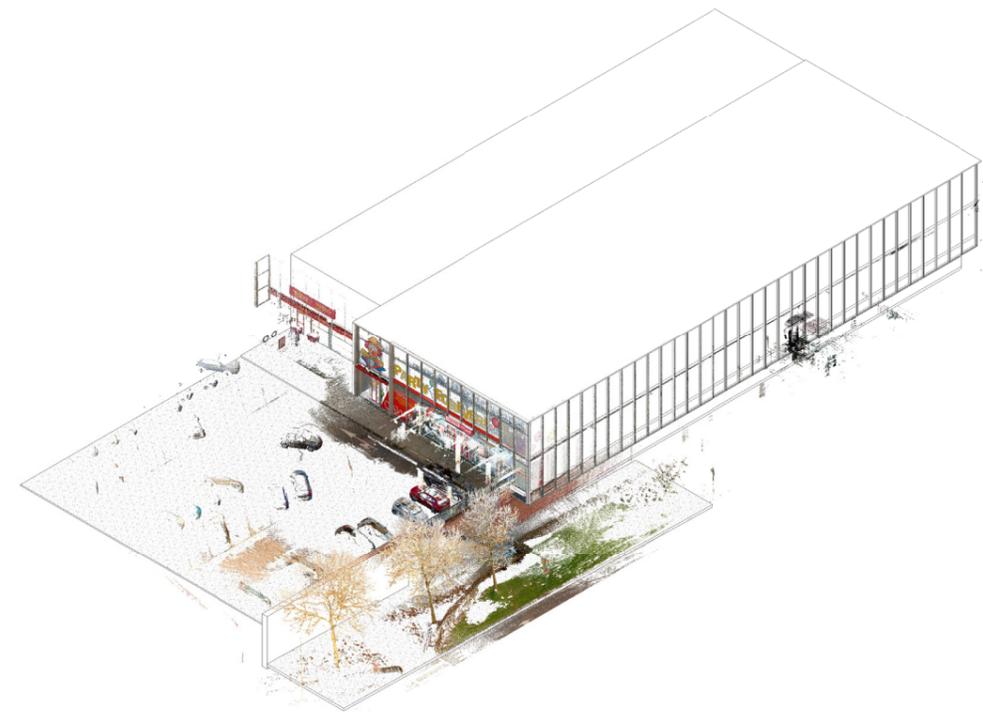
[Figura 40] Planimetria dello stato di fatto con indicazione delle aree degli ambienti. La planimetria mostra la distribuzione degli spazi interni del piano dell'edificio rilevato, con l'inserimento dei *room tags* che riportano le superfici calcolate di ciascun ambiente. Questa rappresentazione è stata ottenuta a partire dal modello BIM elaborato successivamente alla fase di rilievo. Elaborato personale.



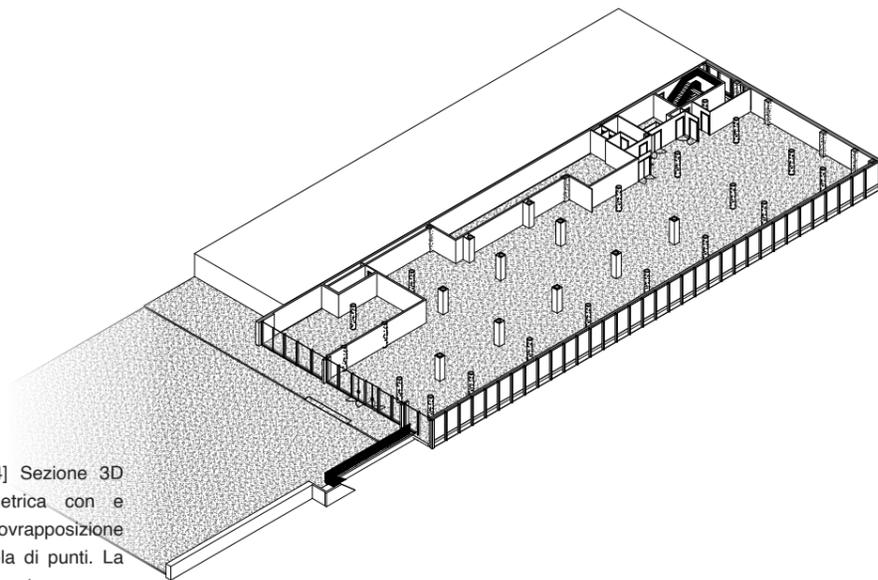
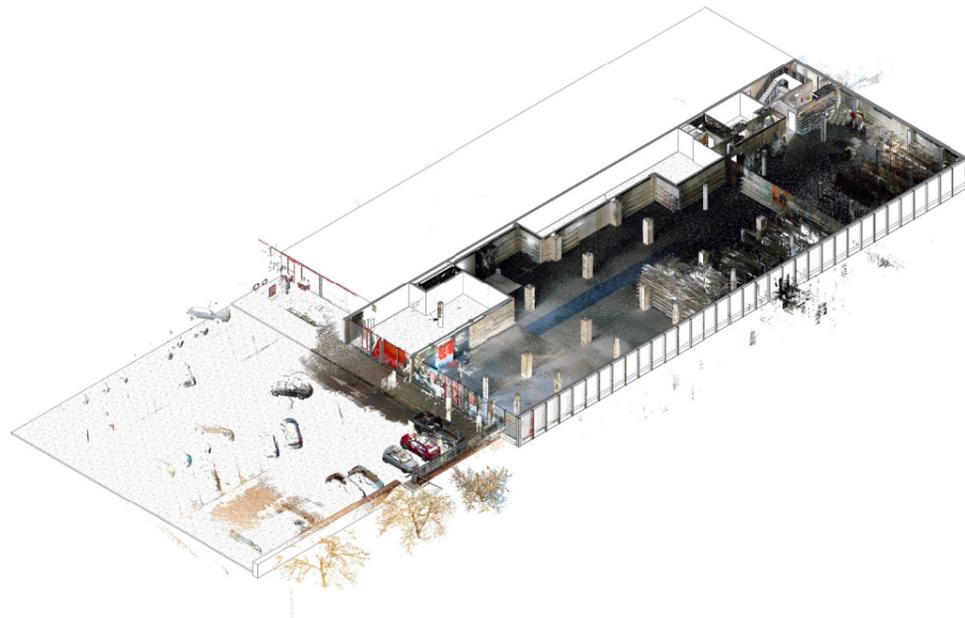
[Figura 41] Prospetto Ovest con e senza sovrapposizione della nuvola di punti. In alto, il prospetto ovest dell'edificio viene presentato con la sovrapposizione della nuvola di punti acquisita tramite rilievo laser scanner; in basso, la stessa vista è mostrata nella versione priva di sovrapposizione. Elaborati personali.



[Figura 42] Prospetto Sud con e senza sovrapposizione della nuvola di punti. In alto, il prospetto sud dell'edificio viene presentato con la sovrapposizione della nuvola di punti acquisita tramite rilievo laser scanner; in basso, la stessa vista è mostrata nella versione priva di sovrapposizione. Elaborati personali.



[Figura 43] Vista 3D planivolumetrica con e senza sovrapposizione della nuvola di punti. La figura presenta una vista tridimensionale planivolumetrica dell'edificio rilevato. Elaborati personali.



[Figura 44] Sezione 3D planivolumetrica con e senza sovrapposizione della nuvola di punti. La figura presenta una sezione tridimensionale planivolumetrica dell'edificio rilevato.

Elaborati personali.

Il test ha l'obiettivo principale di determinare il livello di automazione e l'efficienza operativa di due strumenti specializzati nell'elaborazione e trasformazione delle nuvole di punti in modelli BIM, con un *focus* specifico sulla generazione rapida di modelli BIM semplificati, orientati alla rappresentazione degli elementi architettonici principali di spazi interni ed esterni rilevati tramite laser scanner. I software selezionati si ricordano essere:

- Undet for Revit
- FARO As-Built for Revit

Il test si propone di analizzare:

- la capacità dei software di automatizzare l'estrazione di geometrie architettoniche (pilastri, pareti, solai, aperture);
- la velocità di generazione del modello parametrico;
- la qualità e la precisione del modello prodotto;
- la facilità di utilizzo e la curva di apprendimento;
- la compatibilità e interoperabilità con ambienti BIM consolidati, come in questo caso Autodesk Revit.

L'esito del test sarà utile per individuare il software più adatto a supportare il processo di modellazione semplificata di edifici commerciali esistenti, rilevati tramite laser scanner. In particolare, in un contesto come quello di Basic-Fit, dove la ripetitività delle strutture e la necessità di tempi rapidi rendono indispensabile l'adozione di soluzioni affidabili e veloci, l'analisi si concentra su strumenti in grado di ridurre al minimo la modellazione manuale, senza rinunciare alla qualità del risultato.

Fase	Attività	Tempo (min)
<b>1. Impostazione</b>	Posizionamento griglie di riferimento	15'
<b>2. Struttura</b>	Modellazione dei pilastri (posizionamento iniziale, verifica dimensioni, allineamento)	50'
	Modellazione delle travi primarie e secondarie	35'
<b>3. Architettura</b>	Modellazione dei muri perimetrali e interni	90'
	Modellazione dei pavimenti	20'
	Modellazione delle facciate continue ( <i>curtain walls</i> )	45'
<b>4. Contesto</b>	Inserimento delle porte	40'
	Inserimento del contesto esterno	35'
<b>5. Aggiustamenti</b>	Correzioni manuali, rifiniture e revisione finale	30'
<b>Totale</b>		360' = 6h

La tabella riportata offre una stima dettagliata dei tempi necessari per modellare manualmente l'edificio selezionato come caso studio, caratterizzato da un piano solo, con pianta rettangolare pressoché regolare e struttura in cemento armato con pilastri circolari di diverse sezioni. I tempi riportati si riferiscono esclusivamente alle operazioni di modellazione svolte manualmente all'interno di un ambiente BIM, e sono organizzati secondo le principali fasi operative: impostazione, struttura, architettura, contesto e aggiustamenti.

È importante precisare che le tempistiche riportate non includono alcune attività preliminari e complementari, come ad esempio:

- La gestione della nuvola di punti e la sua importazione;
- L'impostazione del nord reale;
- La creazione e personalizzazione delle *room tags* (etichette degli ambienti)
- L'inserimento delle altezze all'interno delle stesse *tags*;
- La realizzazione delle tavole di disegno da consegnare.

L'obiettivo della tabella è fornire un punto di riferimento oggettivo, per quanto più possibile, per valutare e confrontare i tempi richiesti per una modellazione manuale, mettendoli a confronto con quelli ottenuti attraverso l'impiego di strumenti avanzati, pensati per testare diverse soluzioni di automazione nei *workflow*.

[Figura 45] Tabella riportante le tempistiche di modellazione manuale del caso studio. Elaborato personale.

## 4.4 Applicazione dei due software al caso studio

### 4.4.1. Applicazione di Undet for Revit

La fase iniziale della sperimentazione si è concentrata sull'uso del software Undet for Revit, scelto per la sua integrazione diretta con Autodesk Revit e per l'approccio semplificato di modellazione della nuvola di punti.

Una precisione importante riguarda la compatibilità dei formati: Undet for Revit supporta direttamente file .rcs e .rcp, quindi non è strettamente necessario convertirli in un progetto Undet project file (.ipcp) per poterli utilizzare nel software. È bene, però, segnalare che per sfruttare funzionalità avanzate o migliorare le prestazioni su *dataset* complessi, può essere preferibile convertire la nuvola di punti tramite Undet Indexer.

Nel nostro caso, la nuvola di punti, inizialmente in formato .rcp, è stata convertita in un file .ipcp. Questa operazione, pur non obbligatoria, ha permesso una gestione più efficiente dei dati, grazie alla suddivisione in *tiles* (porzioni) che ottimizzano la visualizzazione all'interno di Autodesk Revit, senza comprometterne le prestazioni operative.

Durante l'importazione, Undet ha anche prodotto una serie di immagini *raster* sovrapposte alla nuvola, ottenute sezionando orizzontalmente la nuvola di punti a diversi livelli. Queste immagini, simili a delle ortofoto, aiutano l'utente nella fase di modellazione in pianta, offrendo un riferimento visivo chiaro e facilmente leggibile.

Una volta impostato l'ambiente di lavoro, la modellazione è proseguita tramite la creazione di queste sezioni orizzontali a diverse altezze strategiche, utili per individuare le geometrie principali come muri, pilastri e aperture direttamente dalla vista in pianta.



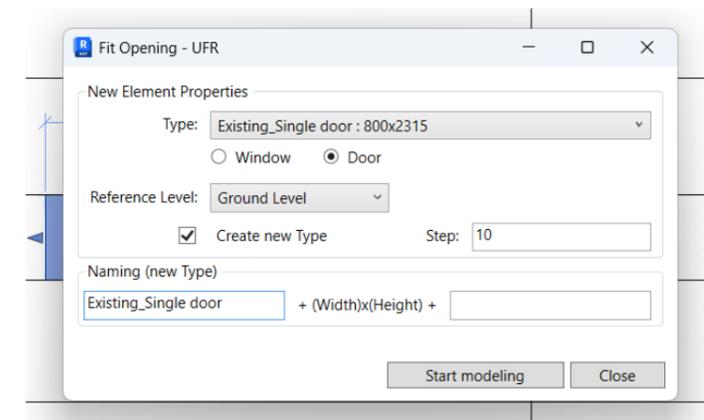
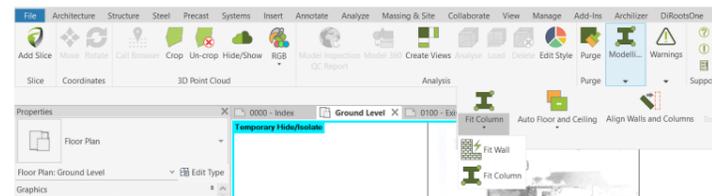
Il *workflow* è stato ulteriormente semplificato grazie a funzioni come *Fit Wall* e *Fit Column*, che hanno permesso, selezionando tre punti rappresentativi sulla nuvola, di adattare il muro campione alle dimensioni effettive rilevate, creando nuovi tipi di muro o di pilastri con spessori, larghezze e altezze corrette. Queste funzionalità riducono significativamente i tempi di modellazione e di modifica manuale, migliorando l'efficienza complessiva del processo.

Anche la modellazione delle aperture (porte e finestre) è risultata più semplice grazie alla possibilità di

[Figura 46] Immagine *raster* generata da Undet tramite sezionamento orizzontale della nuvola di punti. Elaborato personale.

individuare direttamente le interruzioni nei muri all'interno della nuvola di punti. È stato, quindi, possibile associare una famiglia parametrica standard (es. porta singola o una finestra semplice) che si adattasse automaticamente in larghezza e altezza ai dati rilevati.

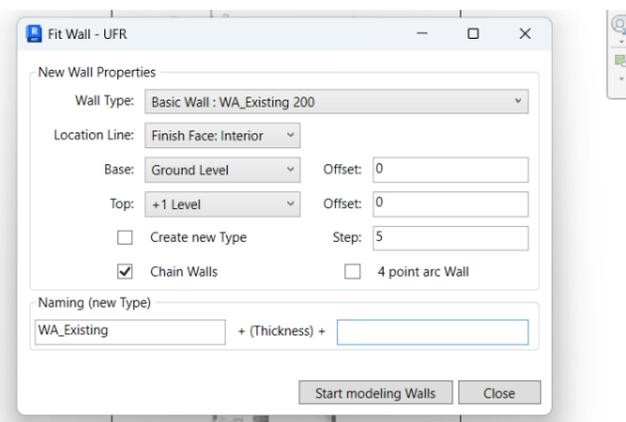
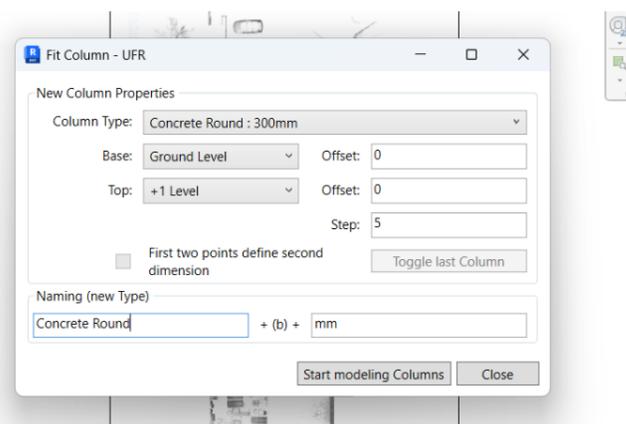
In pratica, partendo da un elemento standard di Revit, l'operatore può generare rapidamente copie personalizzate degli oggetti architettonici reali, mantenendo la coerenza parametrica e migliorando sia la precisione che la velocità di modellazione.



[Figura 47] Interfaccia principale di Undet integrata in Autodesk Revit. Sono visibili le funzionalità dedicate alla gestione della nuvola di punti, al riconoscimento automatico delle superfici e agli strumenti di supporto alla modellazione architettonica.

[Figura 48] Interfaccia dello strumento *Fit to Column* in Undet. a partire da un elemento campione, è possibile definire lo step di variazione per individuare e generare colonne corrispondenti all'interno della nuvola di punti.

[Figura 49] Interfaccia dello strumento *Fit to Wall*, che consente la rilevazione automatica dei muri a partire da un muro campione, impostando un margine di tolleranza (step) per adattarsi alla geometria reale.



Per quanto riguarda, invece, la creazione dei pavimenti, il *tool* segue un approccio diverso. Undet non genera un unico pavimento continuo, ma richiede prima la collocazione delle *room tags* (etichette ambiente) all'interno di ciascuna stanza. Una volta posizionata, Undet analizza l'area delimitata e individua il piano orizzontale più coerente, creando un pavimento separato per ogni ambiente. Questa modalità può risultare più utile in edifici con quote diverse tra una stanza e l'altra, consentendo una maggiore precisione nella modellazione. In casi come il caso studio in Heerlen, dove il pavimento si presenta come una superficie pressoché regolare e continua, questa funzionalità si è mostrata meno efficace rispetto alla modellazione manuale, più rapida e immediata.

Nel complesso, l'utilizzo di Undet for Revit si è dimostrato molto valido all'interno del *workflow*. La gestione di muri, pilastri e aperture è risultata efficiente grazie alle funzionalità semi-automatiche.

Per quanto riguarda i pavimenti, pur riconoscendo la precisione del modello basato sulle *room tags*, si è preferito procedere manualmente, vista la semplicità e l'uniformità del piano di calpestio rilevato. Se il progetto avesse richiesto la gestione di quote differenti da ambiente ad ambiente, la generazione singola dei

[Figura 50] Interfaccia dello strumento *Fit Opening* in Undet per l'inserimento di aperture (porte e finestre) a partire da un elemento campione, impostando un margine di tolleranza (*step*) per adattarsi alla geometria reale.

pavimenti sarebbe risultata vantaggiosa, ma nel caso analizzato non era necessaria una tale precisione.

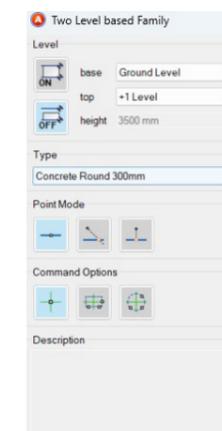
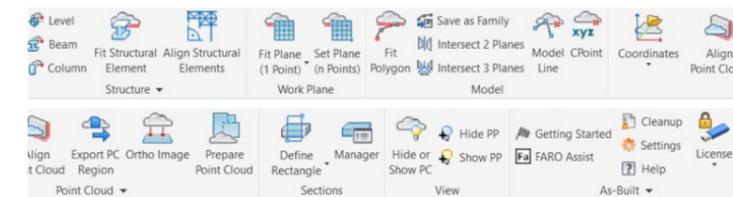
Va comunque sottolineato che, nonostante il supporto del software, l'intervento manuale dell'operatore permane in tutto il processo, in quanto è necessario controllare la correttezza degli elementi generati, verificare la congruenza tra il modello e la nuvola di punti e correggere eventuali imprecisioni derivanti da rumore nella nuvola di punti o da geometrie complesse difficili da interpretare in modo automatico.

Per concludere, Undet si è dimostrato un ottimo supporto per velocizzare e razionalizzare le fasi iniziali di modellazione a partire dalla nuvola di punti, con ottime *performance* su elementi verticali e aperture standard, e alcune limitazioni da considerare per elementi più complessi o orizzontali.

#### 4.4.2. Applicazione di FARO As-Built for Revit

La seconda fase della sperimentazione ha visto l'impiego di FARO As-Built for Revit, scelto anche questo per la sua integrazione diretta con Autodesk Revit e per le sue funzionalità di modellazione semi-automatica, che facilitano la creazione di elementi architettonici e strutturali con elevata precisione.

FARO As-Built for Revit supporta direttamente i formati .rcp e .rcs, consentendo un'integrazione fluida dei dati di scansione senza necessità di conversioni preliminari, a differenza di quanto richiesto per sfruttare appieno le funzionalità avanzate di Undet for Revit.

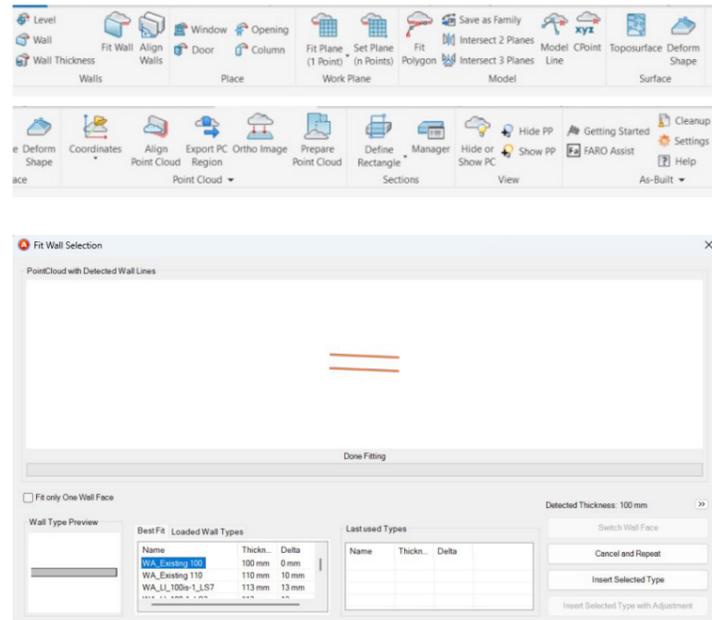


Durante la modellazione degli elementi strutturali, come pilastri e travi, è emerso che FARO As-Built non consente la creazione automatica di nuovi tipi di famiglia basati sulle dimensioni rilevate nella nuvola di punti, ma si limita a riconoscere i vari elementi. In pratica, l'utente deve in *primis* definire o caricare manualmente nel progetto i tipi di elementi necessari con le specifiche dimensioni. Ad esempio, per modellare

[Figura 51] Interfaccia principale di As-Built Structure in FARO As-Built integrata in Autodesk Revit. Sono visibili le funzionalità dedicate al supporto alla modellazione strutturale.

[Figura 52] Interfaccia dello strumento Fit Column in FARO As-Built. Attraverso la selezione di punti sulla nuvola di punti, lo strumento consente di individuare la posizione del pilastro e di assegnare manualmente una famiglia predefinita, scegliendone tipologia e dimensioni tra quelle disponibili nel progetto.

un pilastro di diametro 400 mm, è necessario creare o importare manualmente una famiglia con tali caratteristiche prima di adattarla alla nuvola di punti. Questo procedimento risulta essere pressoché simile alla modellazione manuale, non apportando efficienza in termini di velocità al *workflow*, soprattutto in edifici con elementi strutturali variabili.



[Figura 53] Interfaccia principale di As-Built Architecture in FARO As-Built integrata in Autodesk Revit. Sono visibili le funzionalità dedicate al supporto alla modellazione architettonica.

[Figura 54] Interfaccia dello strumento Fit Wall in FARO As-Built. Attraverso la selezione di punti sulla nuvola di punti, lo strumento consente di individuare la posizione delle pareti all'interno del modello. È possibile assegnare manualmente una famiglia predefinita di muro, scegliendone tipologia e dimensioni tra quelle disponibili nel progetto.

La funzione *Fit Wall* permette di adattare muri esistenti alla nuvola di punti, ma, analogamente agli elementi strutturali, non genera automaticamente nuovi tipi di muro basati sulle misure rilevate. Pertanto, l'utente deve creare manualmente i diversi tipi di muro con gli spessori e le caratteristiche appropriate prima di applicarli alla modellazione. Anche questo procedimento richiede una pianificazione preliminare e può risultare meno efficiente rispetto a soluzioni che automatizzano la creazione di tipi di elementi basati sui dati della nuvola di punti.

Per quanto riguarda le aperture, come porte e finestre, FARO As-Built facilita l'inserimento di tali elementi nel modello, permettendo di selezionare direttamente le

posizioni sulla nuvola di punti. Anche in questo caso, però, è necessario che le famiglie corrispondenti siano già presenti nel progetto o vengano importate manualmente, poiché il software non genera automaticamente nuove famiglie basate sulle dimensioni rilevate.

Nel caso studio analizzato, caratterizzato da una superficie regolare e omogenea, è stato possibile modellare l'intero pavimento come un unico elemento continuo, senza necessità di suddividere l'area in stanze o utilizzare *room tags*. Tuttavia, in contesti con variazioni di quota o irregolarità, la mancanza di automatismi nella generazione di pavimenti adattati alle specifiche condizioni può rappresentare una limitazione.

È importante sottolineare che, nonostante queste limitazioni, FARO As-Built for Revit offre funzionalità avanzate particolarmente utili nel campo dell'Heritage BIM, come si può apprendere dai *tutorials* forniti dall'azienda. Ad esempio, strumenti come l'analisi delle superfici e la gestione delle irregolarità strutturali sono preziosi per il rilievo e la modellazione di edifici storici, dove la fedeltà al dato rilevato è fondamentale. Tuttavia, nel contesto specifico della presente tesi, focalizzata sull'ottimizzazione del *workflow* di modellazione per edifici con geometrie standardizzate, le esigenze dell'azienda oggetto di studio richiedono strumenti più orientati all'automazione e alla rapidità operativa.

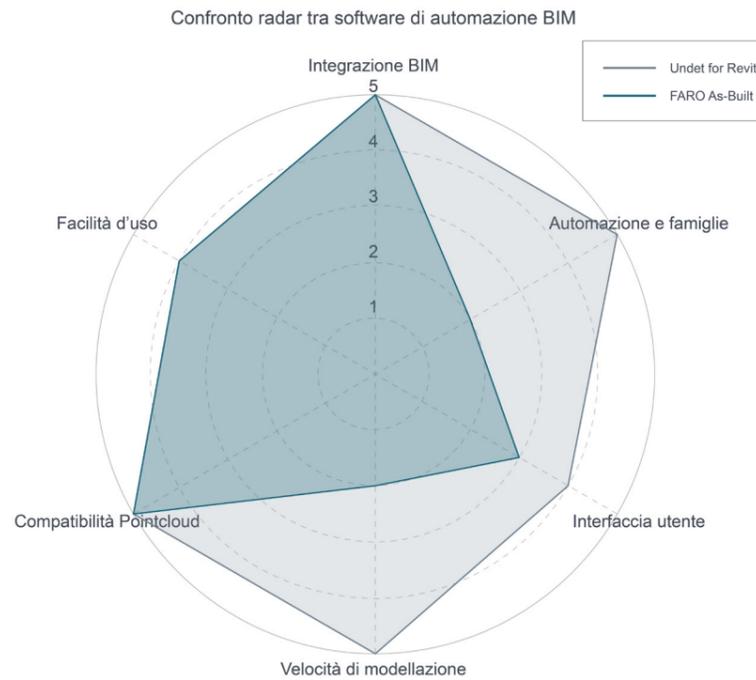
In conclusione, mentre FARO As-Built for Revit si dimostra un valido strumento per progetti di restauro e conservazione, la sua applicazione in contesti che richiedono una modellazione rapida e automatizzata può risultare meno efficiente rispetto ad altre soluzioni, come Undet for Revit, che offrono funzionalità più orientate all'automazione della creazione di elementi basati sui dati della nuvola di punti.

## 4.5 Analisi comparativa delle performance operative

Per valutare in modo comparativo i due software utilizzati nella fase di sperimentazione - Undet for Revit e FARO As-Built for Revit - si è scelto di analizzarli attraverso tre criteri principali: tempi di modellazione, precisione degli elementi modellati e facilità d'uso. I risultati sono stati sintetizzati attraverso due diagrammi comparativi, costruiti a partire dalle osservazioni empiriche derivate dalla sperimentazione diretta condotta nel caso studio.

### Confronto qualitativo: automazione e usabilità

Per valutare in modo più ampio l'efficienza degli strumenti di automazione, si è fatto riferimento ad un diagramma *radar* [Fig. 35] che prende in esame sei variabili chiave: integrazione BIM, automazione nella gestione delle famiglie, interfaccia utente, velocità di modellazione, compatibilità con nuvole di punti e facilità d'uso.



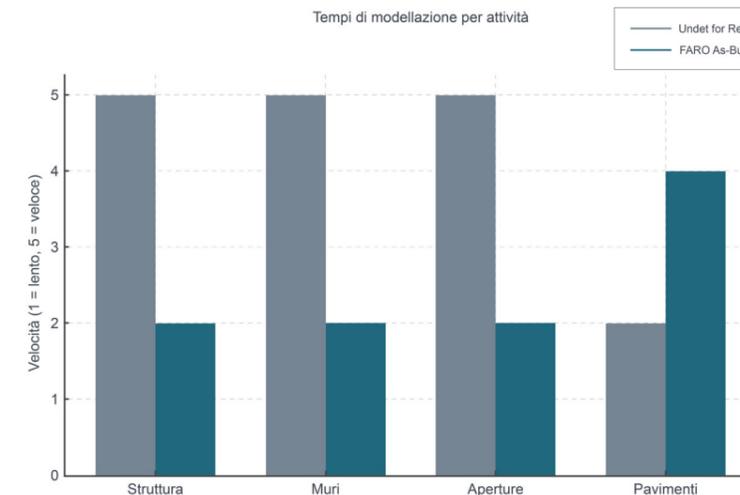
[Figura 55] Confronto qualitativo delle funzionalità dei software selezionati. Diagramma *radar* che mostra il confronto tra Undet for Revit e FARO As-Built for Revit con punteggi da 1 (basso) a 5 (alto). Elaborato personale.

Dal grafico emergono chiaramente le differenze di approccio:

- Undet for Revit si distingue per l'elevato livello di automazione, offrendo strumenti evoluti per la generazione di elementi architettonici direttamente dalla nuvola di punti. Questo lo rende particolarmente adatto a chi cerca un *workflow* rapido ed efficiente, anche grazie ad una buona interfaccia utente e ad un'ottima integrazione nel contesto BIM, riducendo al minimo l'intervento manuale.
- FARO As-Built, sebbene equivalga ad Undet per quanto riguarda la compatibilità con nuvole di punti e l'integrazione BIM, mostra un ritardo significativo nella velocità di modellazione e nella gestione delle famiglie, che risulta ancora troppo manuale per scenari di produzione intensiva.

### Confronto tempi di modellazione

Un altro modo essenziale per valutare l'efficienza di un software BIM consiste nel tener traccia del tempo impiegato per modellare gli elementi architettonici più importanti: struttura, muri, aperture, pavimenti. Sulla base del caso studio reale, sono stati assegnati punteggi da 1 (molto lento) a 5 (molto veloce).



[Figura 56] Confronto dei tempi di modellazione tra Undet for Revit e FARO As-Built for Revit, valutati su una scala da 1 (molto lento) a 5 (molto veloce). Elaborato personale.

Nella modellazione di muri e aperture, tra gli strumenti semi-automatici come *Fit Wall* e *Fit Opening*, Undet for Revit si è rivelato nettamente più rapido, in quanto queste funzionalità sono capaci di adattarsi direttamente alla nuvola di punti. In FARO As-Built, al contrario, l'utente è costretto a utilizzare famiglie a dimensioni prestabilite e un meccanismo più manuale e meno efficiente in termini di velocità.

Per quanto riguarda la creazione dei pavimenti, il comportamento si inverte lievemente: FARO As-Built consente all'utente di creare un'unica superficie continua, vantaggiosa in spazi ampi e regolari, mentre Undet impone una modellazione stanza per stanza con un dispendio maggiore di tempo.

Nella tabella alla pagina seguente sono riportati i risultati ottenuti confrontando i tempi di modellazione manuale con quelli ottenuti utilizzando Undet for Revit. I dati si riferiscono ad una fase sperimentale condotta sul caso studio reale, durante la quale l'uso del software ha permesso una significativa riduzione dei tempi di modellazione.

Per quanto riguarda, invece, l'applicazione di FARO As-Built for Revit, non si sono riscontrati vantaggi sostanziali in termini di efficienza. La riduzione dei tempi è risultata minima (al massimo interno al 10%) e in molti casi simile a quella del processo manuale. Proprio per questo motivo si è scelto di non includere una tabella comparativa dedicata a FARO, in quanto i dati raccolti non hanno evidenziato differenze tali da meritare un'analisi separata.

[Figura 57] Tabella riportante il confronto delle tempistiche di modellazione del caso studio tra il metodo manuale e il metodo automatizzato. I tempi riportati sono frutto di una sperimentazione condotta durante un primo utilizzo del software Undet for Revit. Elaborato personale.

[Figura 57]

Fase	Attività	Tempo manuale (min)	Tempo Undet for Revit (min)
<b>1. Impostazione</b>	Posizionamento griglie di riferimento	15'	15' <i>N.B. L'impostazione delle griglie non è automatizzata da Undet for Revit.</i>
<b>2. Struttura</b>	Modellazione dei pilastri (posizionamento iniziale, verifica dimensioni, allineamento)	50'	20'
	Modellazione delle travi primarie e secondarie	35'	25'
<b>3. Architettura</b>	Modellazione dei muri perimetrali e interni	90'	35'
	Modellazione dei pavimenti	20'	20' <i>N.B. Undet for Revit non è stato utilizzato per la modellazione dei pavimenti.</i>
	Modellazione delle facciate continue ( <i>curtain walls</i> )	45'	20'
	Inserimento delle porte	40'	20'
<b>4. Contesto</b>	Inserimento del contesto esterno	35'	20'
<b>5. Aggiustamenti</b>	Correzioni manuali, rifiniture e revisione finale	30'	30' <i>N.B. Operazione finale strettamente manuale da parte dell'utente.</i>
<b>Totale</b>		360' = 6h	205' = 3.5h

#### 4.6 Proposta di un *workflow* ottimizzato basato sui risultati

L'analisi comparativa tra Undet for Revit e FARO As-Built for Revit, condotta nel contesto di un caso studio reale, ha permesso di individuare i punti di forza e le criticità di ciascuno strumento, offrendo così un quadro operativo utile per definire un *workflow* ottimizzato. L'obiettivo non è solo quello di selezionare il software "migliore" in senso assoluto, ma di delineare una strategia integrata che risponda alle esigenze specifiche di progetti caratterizzati da tempi ridotti, geometrie ripetitive e necessità di standardizzazione, come nel caso di Basic-Fit.

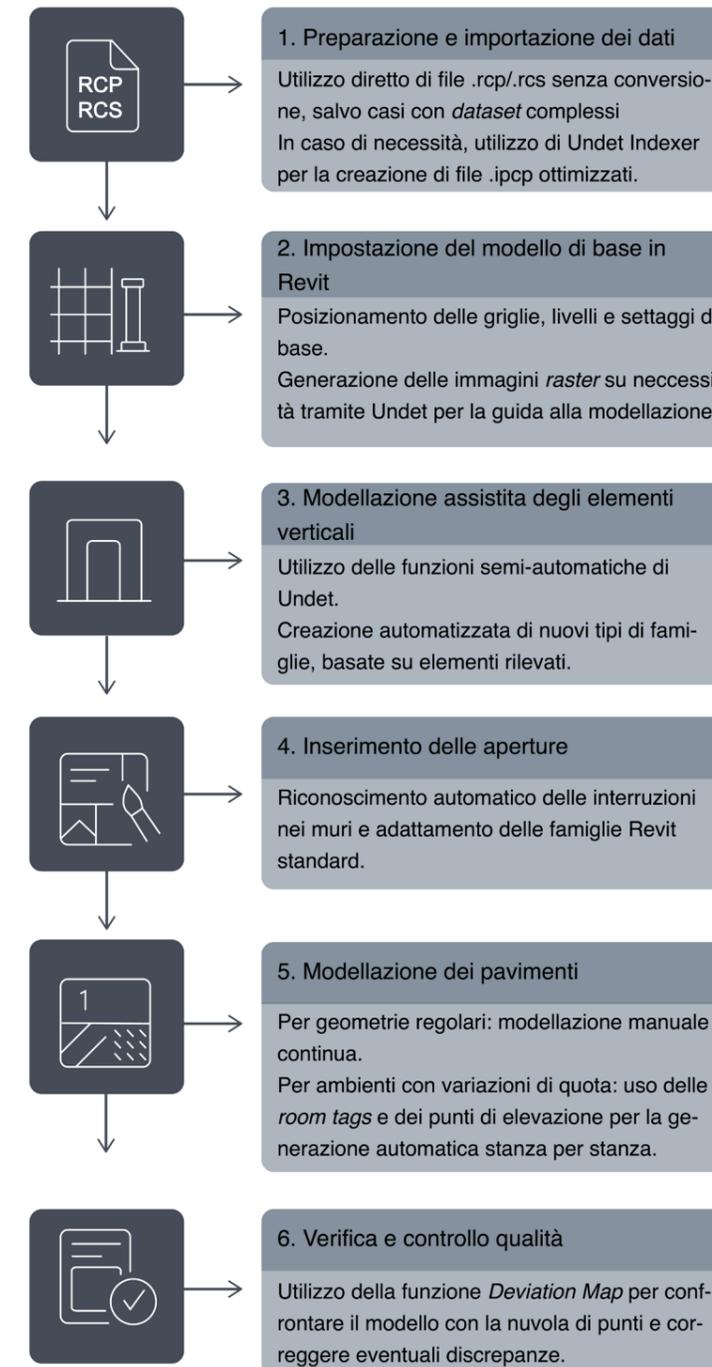
I risultati delle sperimentazioni hanno evidenziato come Undet for Revit offra un livello di automazione significativamente superiore, soprattutto nella gestione delle famiglie e nella generazione di elementi architettonici direttamente dalla nuvola di punti. Funzioni come *Fit Wall*, *Fit Column* e *Fit Opening* permettono una modellazione rapida, mantenendo al contempo un buon grado di controllo da parte dell'utente. La possibilità di generare nuovi tipi di famiglie personalizzate a partire dai dati rilevati consente inoltre di ridurre notevolmente i tempi di progettazione, favorendo un flusso di lavoro continuo e standardizzabile.

Dall'altro lato, FARO As-Built for Revit, pur offrendo ottime *performance* in termini di compatibilità e precisione, richiede una gestione più manuale, soprattutto nella definizione delle famiglie e nella modellazione strutturale. Questa caratteristica lo rende più adatto a contesti in cui la fedeltà al dato è prioritaria rispetto alla rapidità, come accade nel campo dell'H-BIM o in edifici con geometrie irregolari e non ripetitive.

Sulla base di queste osservazioni, è possibile delinea-

re una proposta di *workflow* ottimizzato che sfrutti i vantaggi offerti da Undet for Revit per massimizzare efficienza, standardizzazione e riduzione dell'intervento manuale.

#### Fasi del *workflow* proposto:



[Figura 58] *Workflow* ottimizzato per la modellazione BIM a partire da nuvole di punti. Il processo si articola in sei fasi: dalla preparazione e importazione dei dati alla verifica finale del modello. L'integrazione di strumenti come Undet e l'uso di funzioni semi-automatiche permettono di accelerare significativamente la modellazione, riducendo tempi e margini di errore. Elaborato personale.

Questo *workflow* consente di ridurre significativamente i tempi di modellazione (come evidenziato dai grafici di sintesi), senza compromettere la precisione finale. Inoltre, l'utilizzo di strumenti visivi e semi-automatici favorisce una maggiore accessibilità anche per operatori con un livello intermedio di esperienza, contribuendo alla scalabilità e ripetibilità del processo.

L'adozione di un approccio strutturato e supportato da strumenti come Undet for Revit permette, dunque, di ottenere un modello BIM efficiente, accurato e conforme agli standard aziendali, rappresentando un primo passo concreto verso la piena automazione del processo *Scan-to-BIM*.

## 5. Valutazione dei risultati e prospettive future

### 5.1 Analisi critica dei risultati ottenuti

La sperimentazione condotta ha messo in luce i punti di forza e le criticità dei due software analizzati - Undet for Revit e FARO As-Built for Revit - applicati a un caso studio reale. I risultati hanno evidenziato come l'automazione possa contribuire in maniera significativa alla riduzione dei tempi di modellazione e alla standardizzazione, soprattutto in contesti modulari e regolati da vincoli temporali stringenti, come già discusso in precedenza.

A seguito delle constatazioni emerse nei capitoli precedenti, è possibile trarre alcune considerazioni critiche sull'efficacia e sui limiti dei software testati. L'analisi comparativa ha evidenziato come Undet for Revit si sia rivelato particolarmente adatto in contesti in cui è richiesta una modellazione architettonica rapida e coerente, grazie alla sua capacità di gestire in modo flessibile elementi verticali e aperture standard. La possibilità di generare direttamente famiglie parametriche a partire dalla nuvola di punti rappresenta un vantaggio concreto nell'ottica di una restituzione agile e integrata negli iter di lavoro BIM.

Al contrario, FARO As-Built for Revit, nonostante un alto livello di precisione nella gestione delle geometrie, è molto meno adatto all'automazione vera e propria, risultando più affidabile in circostanze in cui l'accuratezza della modellazione prevale sulla rapidità del processo. L'obbligo di ricorrere a famiglie predefinite e la necessità di interventi manuali frequenti ne riducono l'applicabilità in scenari standardizzati e ripetitivi, come quelli del *retail*.

Nonostante i progressi evidenti rispetto ad una model-

lazione completamente manuale, è emersa con chiarezza la persistenza di una dipendenza dal controllo da parte dell'utente nelle fasi di verifica, interpretazione e correzione dei dati. In particolare, la modellazione di elementi irregolari, la definizione dei limiti spaziali e la gestione delle ambiguità geometriche continuano a necessitare del contributo attivo di un operatore esperto.

In sintesi, i risultati ottenuti confermano la validità dell'approccio semi-automatico, soprattutto in contesti ben strutturati, ma ne evidenziano al contempo i limiti attuali: la completa automazione del processo *Scan-to-BIM* rimane una prospettiva ancora parziale, condizionata dalla complessità intrinseca dei dati acquisiti e dalla varietà delle condizioni operative. La vera sfida, quindi, non risiede solo nell'affidabilità degli strumenti, ma anche nella loro capacità di adattarsi a situazioni variabili senza compromettere la qualità del risultato finale.

## 5.2 Opportunità di miglioramento nei *workflow* proposti

L'analisi comparativa e l'osservazione diretta del caso studio hanno permesso di identificare alcune aree di miglioramento nei *workflow* proposti. In primo luogo, emerge la necessità di integrare strumenti per la gestione delle famiglie in modo più dinamico, superando la necessità di definire a priori ogni tipo di elemento da modellare. Questo aspetto limita la flessibilità dei processi e rallenta la restituzione in presenza di variabilità geometriche.

In secondo luogo, si potrebbe intervenire sulla fase di riconoscimento delle geometrie più complesse (ad esempio controsoffitti irregolari, scale, nicchie o superfici curve), che attualmente richiede ancora un'elaborazione manuale. L'integrazione di moduli di pre-classificazione automatica, anche basati su sistemi di *clustering* o algoritmi di riconoscimento geometrico, potrebbe rappresentare un'evoluzione concreta del *workflow*.

Infine, l'adozione di sistemi di *scripting* visuale (es. Dynamo for Revit), già utilizzati all'interno del *workflow* aziendale, si è rivelata promettente per automatizzare alcune operazioni ripetitive all'interno di Revit. È bene segnalare che nonostante ciò, lo sviluppo di *script* personalizzati richiede tempo e competenze del settore, evidenziando il bisogno di soluzioni più accessibili anche ad operatori non esperti.

### 5.3 Verso l'automazione completa: il ruolo del *Machine Learning*

Negli ultimi anni, il ruolo dell'Intelligenza artificiale nella digitalizzazione del costruito si è evoluto da semplice supporto operativo a componente centrale nei tentativi di automazione dei processi. Il passaggio dalla segmentazione alla modellazione automatica costituisce oggi uno degli orizzonti più avanzati della ricerca in ambito BIM, dove l'obiettivo è ridurre il più possibile l'intervento umano nei *workflow Scan-to-BIM*.

#### 5.3.1 Scenari futuri: dalla segmentazione alla modellazione automatica

Le tecniche di *Machine Learning*, in particolare quelle basate su reti neurali Convoluzionali (CNN), stanno dimostrando un notevole potenziale nella segmentazione semantica delle nuvole di punti e nell'individuazione automatica degli oggetti architettonici. Già oggi è possibile istruire reti neurali a distinguere pareti, aperture, pilastri o solai all'interno di ambienti complessi, basandosi su *dataset* etichettati in precedenza.

Tuttavia, uno dei principali ostacoli allo sviluppo di modelli affidabili risiede nella scarsità di *dataset* di addestramento etichettati, soprattutto in ambito architettonico e culturale. Uno studio recente di Patrucco, Setragno e Spanò (2025) ha dimostrato come l'uso di dataset sintetici, generati a partire da modelli fotogrammetrici 3D, possa rappresentare una strategia valida per alimentare reti neurali destinate a compiti di classificazione e segmentazione automatica.<sup>58</sup>

Nel loro esperimento, i ricercatori hanno confrontato le prestazioni di modelli DeepLabV3+ addestrati con immagini tradizionali e con immagini sintetiche, osservando i risultati comparabili in termini di accuratezza, soprattutto per quanto riguarda il riconoscimento

dell'oggetto architettonico principale, che in questo caso è l'Arco parabolico in cemento armato di Morano sul Po. In scenari multiclasse, come la rilevazione di degrado su superfici in calcestruzzo, la sfida appare più complessa, ma i primi risultati evidenziano comunque la validità di un approccio automatizzato per attività di monitoraggio e documentazione su larga scala.

Trasferire questo approccio al contesto BIM significherebbe poter generare, a partire da *dataset* sintetici, *workflow* di modellazione automatica costituendo una vera rivoluzione nella restituzione del costruito. Ricerche pionieristiche come quella di Previtali, Barazzetti et al. (2014) hanno dimostrato la fattibilità della modellazione automatica delle facciate a partire da nuvole di punti, integrando la segmentazione geometrica con la generazione di modelli parametrici per la riqualificazione energetica. Questi studi rappresentano una base su cui si innestano attualmente le applicazioni più avanzate di *Deep Learning*.<sup>59</sup>

Oltre alle reti neurali, esiste una possibilità complementare, particolarmente utile nei contesti in cui i dataset etichettati sono assenti o limitati: l'analisi geometrica basata su regole, realizzabile tramite script Python e librerie per il trattamento delle nuvole di punti, come *Open3D* o *PCL*.<sup>60</sup>

Ad esempio, prendendo in considerazione un pilastro, è possibile osservare che i punti che lo compongono si distribuiscono tipicamente lungo un asse verticale z, mantenendo una sezione trasversale più o meno costante lungo x e y. In questo scenario, è ipotizzabile scrivere uno script Python in grado di riconoscere un ammasso di punti come un pilastro, analizzandone la distribuzione spaziale.

<sup>59</sup> Previtali, M., Barazzetti, L., Brumana, R., Cuca, B., Oreni, D., Roncoroni, F., & Scaioni, M. (2014). *Automatic façade modelling using point cloud data for energy-efficient retrofitting*. *Applied Geomatics*, 6(2), 95–113. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0122-7>

<sup>60</sup> *Open3d* è una libreria *open source* sviluppata per l'elaborazione di nuvole di punti e geometrie 3D, largamente utilizzata in ambito accademico e industriale per applicazioni di computer vision e robotica. *PCL (Point Cloud Library)* è un framework C++ (un insieme di librerie, strumenti e regole scritte nel linguaggio di programmazione C++) di riferimento per il procesamiento di nuvole di punti 3D, che offre strumenti avanzati per filtraggio, segmentazione, ricostruzione e riconoscimento di oggetti.

<sup>58</sup> Patrucco, G., Setragno, F., & Spanò, A. (2025). *Synthetic Training Datasets for Architectural Conservation: A Deep Learning Approach for Decay Detection*. *Remote Sensing*, 17(10), 1714. <https://doi.org/10.3390/rs17101714>

Questo approccio può sfruttare algoritmi come:

- DBSCAN, per identificare *cluster* coerenti di punti;
- PCA (Principal Component Analysis), per stimare l'orientamento principale;
- RANSAC, per approssimare primitive geometriche regolari (box, cilindri)
- *Bounding boxes*, per stimare la sezione e le dimensioni.

Queste tecniche sono interpretabili, più leggere computazionalmente rispetto al Deep Learning, e adatte a progetti architettonici standardizzati come quelli di Basic-Fit, dove si ripetono elementi tipologici ricorrenti.

### 5.3.2 Sfide e potenzialità dell'AI nel BIM

Nonostante i risultati promettenti, rimangono alcune criticità strutturali nell'applicazione del *Machine Learning* al BIM. In *primis*, la fase di annotazione dei dati di addestramento rappresenta ancora un punto critico: per molti casi d'uso, la creazione manuale di maschere e categorie resta dispendiosa e soggetta a errori. Anche Patrucco et al. evidenziano come la classificazione dei fenomeni di degrado richieda una notevole manualità iniziale, che può essere solo in parte mitigata da automazioni successive.<sup>61</sup>

Secondariamente, l'adozione di reti neurali richiede competenze specialistiche che non sono sempre presenti all'interno di studi di progettazione o nei BIM team. È, dunque, più opportuno lo sviluppo di interfacce più accessibili e di strumenti integrati nei software BIM tradizionali, capaci di sfruttare i modelli addestrati anche da utenti non esperti in programmazione o AI.

Nonostante queste difficoltà, l'integrazione dell'AI nei *workflow* BIM rappresenta una delle vie più promettenti per affrontare la crescente complessità dei rilievi

e la necessità di scalare le operazioni di modellazione a numeri sempre maggiori di progetti.

In particolare, come già ribadito in questo lavoro di ricerca, nei contesti di *retail* o di infrastrutture standardizzate, l'uso di AI può portare a una notevole riduzione dei tempi operativi, alla minimizzazione degli errori interpretativi e ad una più efficace gestione delle variazioni tipologiche all'interno di un sistema progettuale modulare.

In questo contesto, il lavoro di centri di ricerca italiani come il gruppo *3DOM - 3D Optical Metrology Unit* dell'FBK di Trento rappresenta un contributo significativo, grazie allo sviluppo di tecniche per la segmentazione semantica e la ricostruzione geometrica 3D applicate al patrimonio costruito. Le loro attività evidenziano come sia già possibile avvicinarsi ad una modellazione automatica guidata da algoritmi intelligenti, capace di generare modelli 3D accurati dal punto di vista geometrico e comprensibili semanticamente, cioè strutturati in modo tale da distinguere e classificare correttamente gli elementi architettonici.<sup>62</sup>

<sup>61</sup> Patrucco, G., Setragno, F., & Spanò, A. (2025). Synthetic Training Datasets for Architectural Conservation: A Deep Learning Approach for Decay Detection. *Remote Sensing*, 17(10), 1714. <https://doi.org/10.3390/rs17101714>

<sup>62</sup> 3DOM – 3D Optical Metrology Unit. *Fondazione Bruno Kessler*. Consultato a Giugno 2025, da <https://3dom.fbk.eu>

## 6. Conclusioni

### 6.1 Sintesi dei risultati principali

La presente ricerca ha indagato le potenzialità dell'automazione nel processo di conversione delle nuvole di punti in modelli BIM, con particolare attenzione all'ottimizzazione dei *workflow* in contesti operativi caratterizzati da alta serialità e tempistiche ristrette, come quello dei *fitness club* di Basic-Fit.

Dopo una prima ricognizione teorica e tecnologica sullo stato dell'arte, la tesi si è concentrata su una sperimentazione pratica svolta su un caso studio reale, in cui sono stati messi a confronto due approcci alla modellazione:

- un *workflow* tradizionale, interamente manuale;
- un *workflow* semi-automatico supportato dall'utilizzo di Undet for Revit.

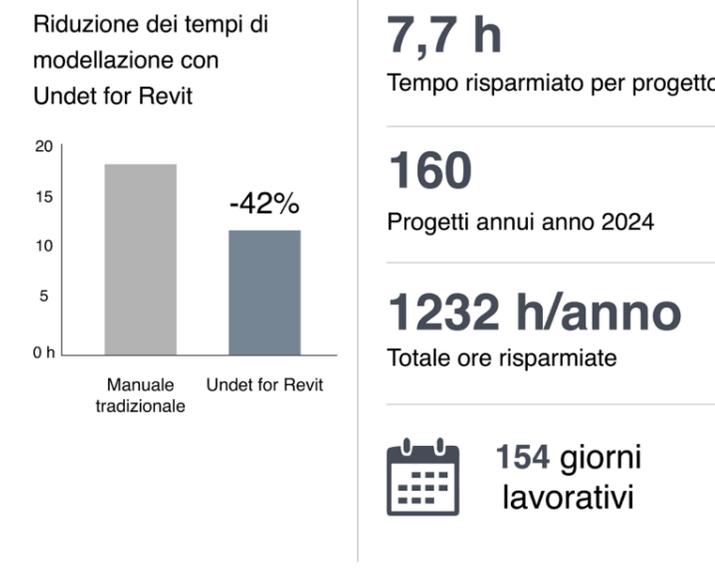
Dall'analisi comparativa è emerso un risparmio medio pari al 42% del tempo di modellazione per ciascun progetto. Questo dato assume particolare rilevanza se rapportato alla media dei progetti gestiti annualmente in azienda, che si attesta su circa 18 ore per modello: applicando la riduzione osservata, è possibile stimare un risparmio effettivo di circa 7,7 ore per progetto.

L'approccio automatizzato si è dimostrato efficace soprattutto per la modellazione degli elementi architettonici standardizzati (pareti, aperture, pilastri), lasciando invece all'operatore il compito di intervenire su componenti più complessi o ambigui. Da questo equilibrio nasce un *workflow* ibrido capace di combinare l'efficienza dell'automazione con la flessibilità dell'esperienza umana, mantenendo al contempo l'accuratezza del risultato finale.

Infine, è stato proposto un *workflow* ottimizzato, facilmente scalabile e adatto a realtà che operano su progetti ricorrenti, confermando l'ipotesi iniziale: l'automazione può rappresentare una risorsa chiave per la digitalizzazione dei processi progettuali, non solo in ambito storico o accademico, ma anche e soprattutto nel settore privato e produttivo.

## 6.2 Implicazioni per il settore

L'introduzione di strumenti semi-automatici come Undet for Revit apre scenari promettenti per l'ottimizzazione dei *workflow* Scan-to-BIM in contesti aziendali ad alta serialità. La sperimentazione condotta su un caso studio semplice ha evidenziato una riduzione media dei tempi di modellazione del 42%, rispetto al metodo manuale tradizionale. Questo dato, pur riferendosi a un progetto con geometrie lineari e prive di particolari complessità, suggerisce un potenziale risparmio ancora maggiore su progetti più ricorrenti e strutturalmente simili, come quelli gestiti da aziende di *retail*.



### Break-even del costo di licenza Undet for Revit

Costo licenza annua **€1200,00** → Numero progetti per rientrare nel costo **N. 10 progetti**

Applicando questa percentuale al tempo medio impiegato in azienda per ciascun progetto

[Figura 59] Schema rappresentativo dei benefici operativi derivanti dalla semi-automazione del processo Scan-to-BIM. Elaborato personale.

to (18 ore), si stima un risparmio di circa 7,7 ore per intervento. Esteso a una produzione annua di 160 modelli, dati riferiti all'anno 2024, questo si traduce in oltre 1.200 ore risparmiate all'anno.

Anche ipotizzando un valore medio di produttività per ora lavorata, l'adozione dello strumento risulta ampiamente giustificata: il costo della licenza annuale di €1.200,00 viene ammortizzato già dopo circa 10 progetti, rendendo l'investimento altamente sostenibile.

Questi risultati rendono evidente come l'automazione non sia solo una questione di efficienza, ma un vero e proprio investimento strategico per realtà come Basic-Fit, Starbucks o McDonald's, in cui la standardizzazione del prodotto architettonico si presta all'implementazione di strumenti digitali avanzati.

### 6.3 Riflessioni personali e direzione futura della ricerca

Questo lavoro non ha rappresentato soltanto un'opportunità per approfondire strumenti e metodologie innovative, ma anche un'occasione per osservare da vicino le reali dinamiche operative di un'azienda attiva a livello internazionale.

Durante la sperimentazione è emerso chiaramente l'utilità pratica che deriva dall'adozione di soluzioni semi-automatizzate: si tratta di strumenti che possono fare davvero la differenza in contesti in cui tempistiche e standardizzazione sono fattori chiave. Allo stesso tempo, però, questo lavoro mi ha resa ancora più consapevole delle attuali limitazioni riguardanti l'automazione, soprattutto quando ci si confronta con geometrie complesse o situazioni non standardizzate. È questo il punto che segna l'esigenza di sviluppare soluzioni più intelligenti e adattabili, capaci di riconoscere, interpretare e agire anche in condizioni meno strutturate.

Nel futuro, un naturale proseguimento di questa ricerca potrebbe consistere nell'esplorazione di strumenti basati sull'Intelligenza artificiale e sul *machine learning*, in grado di affrontare in modo ancora più efficace fasi come la segmentazione automatica, il riconoscimento semantico e la generazione automatica di famiglie BIM. Ulteriori sviluppi potrebbero anche riguardare la valutazione dei benefici economici nel lungo termine, considerando variabili come i costi formativi, l'adozione su scala aziendale e l'interoperabilità con altri sistemi.

Guardandomi indietro, questo progetto ha rappresentato un percorso di sintesi tra teoria e pratica, tra studio e lavoro. Guardando avanti, spero possa essere

anche un punto di partenza per un dialogo più ampio sull'importanza di integrare l'innovazione nei processi quotidiani, rendendola uno strumento al servizio non solo dell'efficienza, ma anche della qualità e del pensiero progettuale.

In questo scenario, non si cerca di rimpiazzare l'uomo con l'Intelligenza artificiale, bensì di fornirgli strumenti che lo supportino nei compiti più ripetitivi e manuali. L'intento è liberare tempo e risorse mentali per ciò che rende davvero unico il contributo umano: la capacità di immaginare, ideare, progettare. In un contesto nel quale rischiamo di soffocare la creatività a causa del ripetersi di operazioni meccaniche e ripetitive, il vero valore dell'automazione sta proprio nell'aiutare l'uomo a ritrovare lo spazio per pensare.

## 7. Bibliografia

**Aguilar-Camacho, J., Granado-Castro, G., & Barrera-Vera, J. A. (2023).** Optimizing workflows and proposal of a standard in surveying of decorative heritage elements (The Royal Alcázar of Seville, Spain). *DisegnareCON*, 16(30). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.30.2023.1>

**Anania, F. (2021).** *Informative design. Innovazioni di processo per una progettazione integrata.* In IN FOLIO\_36. Università degli Studi di Palermo - Dipartimento di Architettura. Disponibile su <https://www.researchgate.net/publication/348565513>

**Barazzetti, L., Fangi, G., Remondino, F., & Scaioni, M. (2010).** Automation in Multi-Image Spherica Photogrammetry for 3D Architectural Reconstructions. *The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST.*

**Bianchini, C., Inglese, C., & Ippolito, A. (2016).** The role of BIM (Building Information Modeling) for representation and managing of built and historic artifacts. *DisegnareCON*, 9(16), 10-11. <http://disegnarecon.univaq.it>

**Ceccarelli, L., Bevilacqua, M.G., Caroti, G., Castiglia, R.B.F., & Croce, V. (2023).** Semantic segmentation through Artificial Intelligence from raw point clouds to H-BIM representation. *DisegnareCON*, 16(30). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.30.2023.17>

**Czerniawski, T., & Leite, F. (2021).** An approach to boundary detection for 3D point clouds based on DBSCAN clustering and RANSAC plane fitting. *Pattern Recognition*, 117, 107997.

**D'Auria, S., & D'Agostino, P. (2024).** Scan-to-BIM and segmentation processes for the conservation of cultural heritage. A workflow proposal. *DisegnareCON*, 17(32). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.32.2024.13>

**De Mauro, A. (2019).** *Big data analytics: guida per iniziare a classificare e interpretare dati con il machine learning.* Apogeo.

**Di Giuda, G. (2019).** *Introduzione al BIM. Protocolli di modellazione e gestione informativa.* Società Editrice Esculapio.

**Dore, C., & Murphy, M. (2017).** Current state of the Art Historic Building Information Modelling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W5, 2017, 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August–01 September 2017, Ottawa, Canada. doi:10.5194/ispr-archives-XLII-2-W5-185-2017

**Eastman, C. (2016).** *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese.* Hoepli.

**Fiorillo, F., & Rossi, C. (2021).** 3D Parametric Modelling based on Point Cloud for the Interpretation of the Archaeological Remains. *DisegnareCON*, 14 (26). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.26.2021.2>

**Hackel, T., Wegner, J. D., & Schindler, K. (2016).** Fast semantic segmentation of 3D point clouds with strongly varying density. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, III-3, 177–184.

**Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021).** Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685–695. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>

**Licata, L. (2024).** *Augmented reality applied to the construction site* (Tesi di laurea magistrale, Rel. M. Lo Turco & J. Bono). Politecnico di Torino.

**Llamas, J., Leronés, P.M., Medina, R., Zalama, E., & Gomez-Garcia-Bermejo, J. (2017).** Classification of architectural heritage images using deep learning techniques. *Applied sciences*. Disponibile su <https://www.mdpi.com>

**Lo Buglio, D., & Van Dongen, A. (2021).** Towards a multi-scale semantic characterization of the built heritage: From the column to the urban scale. *DisegnareCON*, 14 (26). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.26.2021.3>

**Lombardi, M., & Rizzi, D. (2024).** Semantic modelling and HBIM: A new

multidisciplinary workflow for archaeological heritage. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 32, e00322. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00322>

**Lo Turco, M., Mattone, M., & Rinaudo, F. (2017).** Metric survey and BIM technologies to record decay conditions. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-5/W1, 261–268, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-261-2017>, 2017.

**Macher, H., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2017).** From point clouds to Building Information Models: 3D semi-automatic reconstruction of indoors of existing buildings. *Applied Sciences*, 7(10), 1030.

**Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2013).** Historic Building Information Modelling (HBIM). *Automation in Construction*, 24, 89–99.

**Pătrăucean, V., Armeni, I., Nahangi, M., Yeung, J., Brilakis, I., & Haas, C. (2015).** State of research in automatic as-built modelling. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 162–171.

**Patrucco, G., Setragno, F., & Spanò, A. (2025).** Synthetic Training Datasets for Architectural Conservation: A Deep Learning Approach for Decay Detection. *Remote Sensing*, 17(10), 1714. <https://doi.org/10.3390/rs17101714>

**Pellis, E., Masiero, A., Grussenmeyer, P., Betti, M., & Tucci, G. (2023).** Synthetic data generation and testing for the semantic segmentation of heritage buildings, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-M-2-2023, 1189–1196, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1189-2023>

**Petzold, F., & Donath, D. (2004).** The building as a container of information: The starting point for project development and design formulation. *Journal of Information Technology in Construction*, 9, 367–377

**Pirotti, F., Guarnieri, A., Chiodini, S., & Bettanini, C. (2023).** Automatic

Coarse co-registration of point clouds from diverse scan geometries: a test of detectors and descriptors. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-1/W1-2023, 581–587. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-581-2023>

**Poux, F. (2019).** *The Smart Point Cloud: Structuring 3D intelligent point data* [Doctoral dissertation, University of Liège]. ISBN 978-94-6375-422-4. Disponibile su ResearchGate.

**Previtali, M., Barazzetti, L., Brumana, R., Cuca, B., Oreni, D., Roncoroni, F., & Scaioni, M. (2014).** *Automatic façade modelling using point cloud data for energy-efficient retrofitting*. *Applied Geomatics*, 6(2), 95–113. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0122-7>

**Quattrini, R., Clini, P., & Nespeca, R. (2016).** Measurement and Historical Information Building: challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content. *DisegnareCON*, 9(16). <http://disegna-recon.univaq.it>

**Raj, T., Hashim, F. H., Huddin, A. B., Ibrahim, M. F., & Hussain, A. (2020).** *A Survey on LiDAR Scanning Mechanisms*. *Electronics*, 9(5), 741. <https://doi.org/10.3390/electronics9050741>

**Rinaudo, F., Bornaz, L., & Ardissonne, P. (2007).** 3D high accuracy survey and modelling for cultural heritage documentation and restoration. In *VAST 2007 - Future technologies to empower heritage professionals* (Brighton, 2007).

**Rocha, G., & Mateus, L. (2024).** Using Dynamo for Automatic Reconstruction of BIM Elements from Point Clouds. *Applied Sciences*, 14 (4078). <https://doi.org/10.3390/app14104078>

**Rocha, G., Mateus, L. & Ferreira, V. (2024).** Historical Heritage Maintenance via Scan-to-BIM Approaches: A Case Study of the Lisbon Agricultural Exhibition Pavilion. *International Journal of Geo-Information*, 13(54). <https://doi.org/10.3390/ijgi13020054>

**Rodríguez-González, P., & Fernández-Palacios, B.J. (2021).** Point cloud optimization based on 3D geometric features for architectural heritage modelling. *DisegnareCON*, 14(26). <https://doi.org/10.20365/disegnare-con.26.2021.18>

**Saar, S., Froidevaux, P., & Schaepman, M. E. (2019).** Forest structure mapping using airborne LiDAR and hyperspectral data in a temperate mixed forest. *Forest Ecology and Management*, 447, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.056>

**Silva, P. T. (2019).** *Sustainable city: From S3 to S5 city* [Conference paper]. Disponibile su [https://www.researchgate.net/publication/335778018\\_SUSTAINABLE\\_CITY\\_FROM\\_S3\\_TO\\_S5\\_CITY](https://www.researchgate.net/publication/335778018_SUSTAINABLE_CITY_FROM_S3_TO_S5_CITY)

**Schofield, W. (2013).** *Engineering surveying* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann. Disponibile su <https://www.perlego.com/book/1875784>

**Sullini, M. (2024).** Accuracy measurement of the automatic remeshing tools. *DisegnareCON*, 17(32). <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.32.2024.10>

**Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010).** Automatic reconstruction of as-builts building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19, 829-843.

**Tavolare, R., Cabrera Revuelta, E., Verdoscia, C., & Buldo, M. (2023).** A point cloud classification method for the ScanToBIM process in Architectural Heritage. *DisegnareCON*, 16(30). <https://doi.org/10.20365/disegnare-con.30.2023.20>

**Tommasi, C., Achille, C., & Fassi, F. (2016).** From Point Cloud to BIM: a Modelling Challenge in the Cultural Heritage Field. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B5, 429-436.

**Thomson, C., & Boehm, J. (2014).** Indoor modelling benchmark for 3D geometry extraction. *ISPRS Technical Commission V Symposium*, 23 – 25

June 2014, Riva del Garda, Italy.

**Valero, E., Bosché, F., & Bueno, M. (2022).** Laser scanning for BIM. *Journal of Information Technology in Construction* (ITcon, 27, 486–495. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.023>

**Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014).** Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.

**Wang, M., Yue, G., Xiong, J., & Tian, S. (2024).** Intelligent point cloud processing, sensing, and understanding. *Sensors*, 24(1), 283. <https://doi.org/10.3390/s24010283>

**Wu, K., Prieto, S. A., Mengiste, E., & García de Soto, B. (2024).** Automated quality inspection of formwork systems using 3D point cloud data. *Buildings*, 14(4), 1177. <https://doi.org/10.3390/buildings14041177>

## 8. Sitografia

01building. *HBIM: cos'è l'Historical Building Information Modeling*. Consultato a Novembre 2024 da <https://www.01building.it/hbim-cose-historical-building-information-modeling>

3DOM – 3D Optical Metrology Unit. *Fondazione Bruno Kessler*. Consultato a Giugno 2025, da <https://3dom.fbk.eu>

Academia. Consultato a Gennaio 2025 da <https://www.academia.edu>

Acca Software. *Nuvola di punti*. Consultato ad Ottobre 2024 da <https://www.acca.it/nuvola-di-punti>

AEC Magazine. (2023, December 5). *Autodesk acquires Pointfuse's core IP and technology*. Consultato a Giugno 2025, da <https://aecmag.com/news/autodesk-acquires-pointfuses-core-ip-and-technology/>

Alteia. *Point cloud classification and machine learning: an introduction to practical uses in vision AI*. Consultato a Dicembre 2024 da <https://alteia.com/resources/blog/point-cloud-classification-and-machine-learning>

Autodesk. Consultato a Gennaio 2025 da <https://www.autodesk.com>

Autodesk. *What is PointFuse?*. Consultato a Gennaio 2025 da [https://www.autodesk.com/solutions/pointfuse?utm\\_source](https://www.autodesk.com/solutions/pointfuse?utm_source)

Basic-Fit. *About us*. Consultato a Gennaio 2025 da <https://corporate.basic-fit.com/about-us>

Basic-Fit. *Media Resources*. Consultato a Febbraio 2025 da <https://corporate.basic-fit.com/media/media-resources>

Youtube. *Basic-Fit: increasing returns to scale*. Consultato a Gennaio 2025 da <https://www.youtube.com/watch?v=wUO07j4sSUI>

BIM Dictionary. Consultato ad Ottobre 2024 da <https://bimdictionary.com>

BIM Idea. Consultato ad Ottobre 2024 da <https://www.bimidea.it>

Buildz. *Dynamo Stadium*. Consultato a Maggio 2025 da <https://buildz.blogspot.com/2014/01/dynamo-stadium.html>

CloudCompare. Consultato a Gennaio 2025 da <https://www.cloudcompare.org>

Dizionari Corriere. Consultato a Gennaio 2025 da [https://dizionari.corriere.it/dizionario\\_italiano](https://dizionari.corriere.it/dizionario_italiano)

Enterprise. *Using point clouds the right way*. Consultato ad Ottobre 2024 da <https://enterprise-insights.dji.com/blog/point-clouds>

FARO Technologies. *As-Built for Autodesk Revit*. Consultato a Marzo 2025 da [https://it-knowledge.faro.com/Software/As-Built/As-Built\\_for\\_Autodesk\\_Revit](https://it-knowledge.faro.com/Software/As-Built/As-Built_for_Autodesk_Revit)

Federal Aviation Administration. *Satellite Navigation - Global Positioning System (GPS)*. Consultato a Dicembre 2024 da [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/gps](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps)

GeoAI. *Deep Learning for Point Cloud Processing*. Consultato ad Aprile 2025 da <https://geoai.au/deep-learning-for-point-cloud-processing/>

GEO-MATCHING. *PointFuse*. Consultato a Gennaio 2025 da <https://geo-matching.com/companies/pointfuse?>

Grasshopper. Consultato a Gennaio 2025 da <https://www.grasshopper3d.com>

Google Earth. Consultato ad Aprile 2025 da <https://earth.google.com/web/>

IBM. *Cos'è il LiDAR?*. Consultato ad Ottobre 2024 da <https://www.ibm.com/it-it/topics/lidar>

IBM. *What is deep learning?*. Consultato a Dicembre 2024 da <https://www.>

[ibm.com/think/topics/deep-learning?](https://www.ibm.com/think/topics/deep-learning?)

Infobuild. *Il BIM per le opere pubbliche*. Consultato ad Ottobre 2024 da <https://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-building-information-modeling-e-appalti-pubblici>

Jouav. Unmanned Aircraft System. *LiDAR vs. Photogrammetry: The Ultimate Showdown for 3D Mapping (2025)*. Consultato a Novembre 2024 da <https://www.jouav.com/blog/lidar-vs-photogrammetry.html>

Leica. Consultato a Novembre 2024 da <https://leica-geosystems.com>

LinkedIn. *The history of point cloud development*. Consultato a Novembre 2024 da <https://www.linkedin.com/pulse/history-point-cloud-development-bimprove>

NavVis. *NavVis IVION. Your platform for spatial data*. Consultato a Febbraio 2025 da <https://www.navvis.com/ivion>

NavVis. *NavVis VLX 2. Ready for anything*. Consultato a Febbraio 2025 da <https://www.navvis.com/vlx-2>

NavVis. *Loop closures. NavVis Knowledge Base*. Consultato a Febbraio 2025 da <https://knowledge.navvis.com/docs/loop-closures>

Perlego. Consultato ad Ottobre 2024 da <https://www.perlego.com>

Prevu3D. *RealityConnect Revit Plugin*. Consultato a Marzo 2025 da <https://www.prevu3d.com/lp/revit-plugin-digital-twin-trial/>

Prosoftweb. *Scan-to-BIM: cos'è e quali sono i vantaggi*. Consultato ad Ottobre 2024 da <https://www.prosoftweb.it/post/scan-to-bim>

Valeria Croce. *Scan-to-BIM & Artificial Intelligence*. Consultato a Gennaio 2025 da <https://valeriacroce.com/2021/05/25/scan-to-bim-artificial-intelligence>

Vizologi. *Basic-FIT's Company Overview*. Consultato a Gennaio 2025 da <https://vizologi.com/business-strategy-canvas/basic-fit-business-model-canvas>

Undet. *Point Cloud software*. Professional Software and Support for Reality Capture Projects. Consultato a Marzo 2025 da <https://www.undet.com/United-BIM>. *The Ultimate Guide: Scan to BIM*. Consultato a Dicembre 2024 da <https://www.united-bim.com/ultimate-guide-of-scan-to-bim>

Youtube. *Undet for Revit: point cloud extension that enriches and streamlines your Scan-to-BIM workflow*. Consultato ad Aprile 2025 da [https://www.youtube.com/watch?v=vGbm5qgYcBY&list=PL\\_5PChnGCENn8yoA6Tq-8DEo2tRbq7Slka](https://www.youtube.com/watch?v=vGbm5qgYcBY&list=PL_5PChnGCENn8yoA6Tq-8DEo2tRbq7Slka)

Zandesk. *Deep learning and machine learning: What's the difference?*. Consultato a Dicembre 2024 da <https://www.zendesk.nl/blog/machine-learning-and-deep-learning>

## RINGRAZIAMENTI

Al mio relatore, Prof. Massimiliano Lo Turco, esprimo la mia più sincera gratitudine per l'attenzione, il supporto e la guida lungo questo percorso.

Un grazie sentito al mio tutor aziendale, BIM Manager Enrico Castorello, per avermi dato l'opportunità di svolgere questa ricerca e per aver accompagnato il progetto con disponibilità, ascolto e competenza.

E un grazie al *Property Department* e a Basic-Fit per avermi accolta e coinvolta in un contesto così stimolante, rendendo questo percorso ancora più ricco e pieno di spunti preziosi.

A mia sorella gemella Olga, il grazie più profondo. In questo percorso non sei stata solo una sorella, ma una presenza costante e insostituibile: amica, collega, compagna di gruppo. Oggi taglio questo traguardo sapendo che, come sempre, tu sei accanto a me.

Grazie alla mia mamma e al mio papà, Roberta e Marco, che non si sono mai tirati indietro. Per avermi sostenuta, per aver creduto in me, per avermi lasciata andare a scoprire il mondo a modo mio. Questo traguardo è tanto mio quanto vostro.

A mia nonna Alba per il suo infinito supporto e fiducia. Le porte della sua casa al mare si sono spalancate in vista di ogni sessione d'esame, diventando il mio rifugio silenzioso, dove studiare e ripetere a voce alta trovava sempre ascolto. È stata la mia prima "esaminatrice", e sicuramente la più paziente. Ai miei nonni, Mario e Maria, che mi aspettavano sempre a braccia aperte dopo ogni esame qualunque fosse l'esito.

Un grazie speciale agli "*amici del Poli*". Con voi ho condiviso molto più che appunti e revisioni: ho vissuto risate incontenibili, ansie, silenzi, feste improvvisate, spritz consolatori e momenti di autentica complicità. Spero che il legame d'amicizia che abbiamo costruito non si perda mai, perché è una delle cose più preziose che porto via con me da questi anni, insieme ai ricordi più belli.

E infine, grazie a tutte le persone a me care che mi sono state vicine lungo questo percorso, con il loro sostegno, anche nei gesti più semplici.

