

UNIVERSITÀ
DI PAVIA

FACOLTA' DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

METODOLOGIA SCAN-TO-BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO
Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia

Candidata: Laura Galesio

Relatore: Prof.ssa Francesca Picchio
Correlatore: Dott.ssa Silvia La Placa

A.A. 2024/2025

INDICE

1. INTRODUZIONE.....5
2. OBIETTIVO DELLA TESI.....7
3. STATO DELL'ARTE.....10
3.1 QUADRO TEORICO E NORMATIVO.....10
3.1.1 Il patrimonio architettonico: conservazione, trasformazione e gestione.....10
3.1.2 Principi del BIM, livelli informativi e ciclo di vita.....11
3.1.3 Il processo Scan-To-BIM: metodologia.....11
3.1.4 Il BIM nel contesto normativo.....12
3.2 CASO STUDIO: IL POLO CRAVINO.....14
3.2.1 Inquadramento territoriale, urbano e storico.....14
3.2.2 Caratteristiche architettoniche e costruttive dell'edificio.....15
3.2.3 Stato di conservazione e criticità.....17
4. METODOLOGIA.....19
4.1 ACQUISIZIONE DELLO STATO DI FATTO.....19
4.1.1 Campagna di rilievo e strumenti utilizzati.....19
4.1.2 Elaborazione della nuvola di punti.....25
4.2 MODELLAZIONE DELLO STATO DI FATTO.....30
4.2.1 Strategie di modellazione Scan-To-BIM.....30
4.2.2 Come si realizza una famiglia parametrica.....30
4.2.3 Catalogazione degli elementi e livello di dettaglio.....32
4.2.4 Elenco delle famiglie realizzate.....33
4.2.5 Impostazione del modello centrale.....47
4.2.6 Modellazione elementi principali.....48
5. RISULTATI.....49
5.1 ANALISI STORICA E CONFRONTO CRITICO.....49
5.1.1 Fonti e documentazione d'archivio.....49
5.1.2 Confronto tra stato attuale e progetto.....50
5.1.3 Interpretazione delle trasformazioni.....51
5.2 APPLICAZIONE PROGETTUALE DEL MODELLO HBIM.....52
5.2.1 Il modello come supporto alle idee progettuali.....52
5.2.2 Obiettivi e vincoli dell'intervento.....53
5.2.3 Proposta progettuale: inserimento del soppalco.....54
5.2.4 Integrazione con l'esistente e coerenza compositiva.....55

6. VERIFICA.....56
6.1 METODO DI COMPARAZIONE TRA FONTI D'ARCHIVIO E MODELLO DIGITALE.....56
6.2 IL MODELLO HBIM: ACCURATEZZA GEOMETRICA E SIMULAZIONE PROGETTUALE.....57
7. CONCLUSIONI.....58
7.1 POTENZIALITÀ DELLA METODOLOGIA SCAN-TO-BIM.....58
7.2 LIMITI E CRITICITÀ.....59
7.3 PROSPETTIVE DI SVILUPPO.....59
8. BIBLIOGRAFIA.....61

1. INTRODUZIONE

Il patrimonio architettonico del Novecento rappresenta una sfida nel campo della conservazione e della gestione del costruito [1]. Edifici progettati secondo principi di modularità, flessibilità e sperimentazione tecnica richiedono strumenti di analisi capaci di restituirne la complessità in modo accurato, sistematico e aggiornabile nel tempo. In questo contesto, il Building Information Modeling (BIM) si afferma come metodologia sempre più centrale, non solo nella progettazione del nuovo, ma anche nella gestione e nel progetto sull'esistente, in coerenza con le recenti evoluzioni normative che ne rendono obbligatorio l'impiego negli appalti pubblici di progettazione a partire dal 2025 (D.lgs. 36/2023).

Affrontare il patrimonio costruito con strumenti BIM richiede però prima una conoscenza metrica accurata dell'edificio. Qui entra in gioco il rilievo digitale tramite laser scanner, la cui integrazione con la modellazione parametrica dà origine al processo Scan-To-BIM. Si tratta di un flusso di lavoro in cui la nuvola di punti acquisita sul campo diventa la base su cui costruire un modello informativo fedele allo stato di fatto.

La presente tesi si inserisce in questo quadro, indagando le potenzialità del processo Scan-To-BIM come strumento a supporto degli interventi sul patrimonio architettonico. Il caso studio selezionato è una porzione del Polo Cravino dell'Università di Pavia, il cosiddetto Blocco di Ingegneria, progettato da Giancarlo De Carlo a partire dagli anni Settanta e realizzato dal 1981. Il complesso costituisce un esempio significativo di architettura universitaria moderna: concepito secondo una logica compositiva modulare e una griglia ortogonale che ordina percorsi, spazi aperti ed edifici, riflette la visione di De Carlo di un'università policentrica, diffusa nel territorio e capace di evolversi insieme alla comunità accademica [2]. La chiarezza del linguaggio costruttivo – calcestruzzo a vista, travi profilate in acciaio, maglia strutturale regolare – e la predisposizione alla trasformazione, rendono questo edificio un caso studio ideale per sperimentare procedure Scan-To-BIM orientate al recupero della memoria del progetto originario e alla valutazione del suo funzionamento rispetto alle esigenze d'uso contemporanee.

[1] Visone, M., La storia dell'architettura per la documentazione e la conservazione del patrimonio costruito moderno e contemporaneo, in Atti del convegno MAXXI, Fondazione Scuola del Patrimonio, Roma, 2022.
[2] Turri, F., La "nave" di Giancarlo De Carlo e il piano di sviluppo dell'Università di Pavia al Cravino, in Cantoni V. e Ferraresi A. (a cura di), Ingegneri a Pavia tra formazione e professione, Cisalpino Istituto Editoriale Universitario, Monduzzi Editore, Milano, 2007, pp. 577-594.)



Fig. 1 - Veduta del Polo Cravino, sede della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pavia, progettato da Giancarlo De Carlo.

2. OBIETTIVO DELLA TESI

L'obiettivo centrale della tesi è dimostrare come l'integrazione tra rilievo digitale ad alta precisione e la modellazione informativa parametrica possa costituire uno strumento attivo di analisi, confronto e supporto alle decisioni progettuali dell'ambito del patrimonio architettonico esistente, andando oltre alla semplice restituzione dello stato di fatto, per trasformare il modello BIM in un dispositivo conoscitivo e progettuale.

A partire da questa premessa, il lavoro si articola in tre obiettivi specifici e progressivi.

- Restituzione digitale accurata dello stato di fatto

Attraverso una campagna di rilievo con laser scanner terrestre Leica RTC360 e la successiva modellazione in Autodesk Revit, si intende produrre un modello informativo dell'edificio conforme alle indicazioni della Norma UNI 11337, con un livello di dettaglio LOD D che garantisca coerenza geometrica e la capacità di interrogazione del modello per obiettivi di conservazione e gestione. Il modello non è concepito come un elaborato grafico statico, ma come base dati strutturata, parametrica e aggiornabile nel tempo.

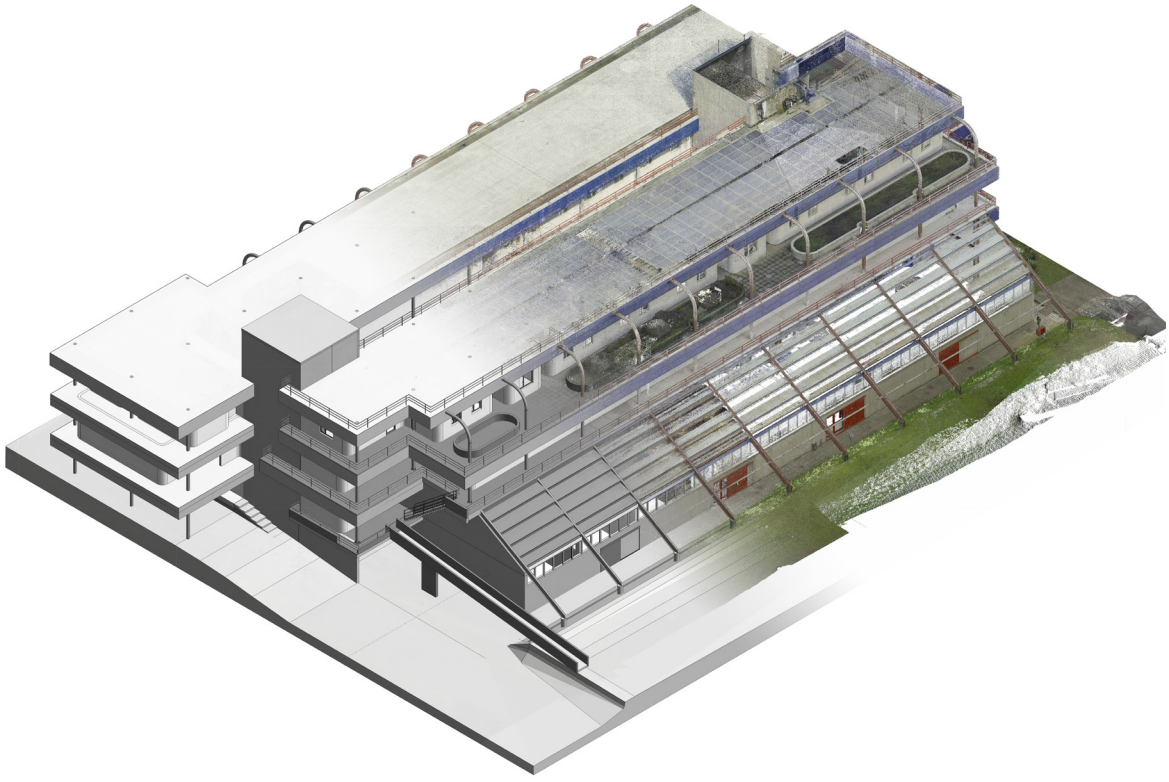


Fig. 2 - Accostamento tra la nuvola di punti acquisita dal rilievo laser scanner e il modello HBIM corrispondente sviluppato in Revit, a illustrazione del processo Scan-To-BIM alla base della ricerca.

- Confronto critico tra stato attuale e progetto originario

L'analisi di fonti e documenti d'archivio, reperiti presso L'archivio Storico dell'Università di Pavia e l'Archivio Disegni del DICAr, permette di ricostruire l'intenzione progettuale originaria di Giancarlo De Carlo e di confrontarla con lo stato attuale dell'edificio. Questo confronto consente di interpretare le trasformazioni avvenute nel tempo, di distinguere tra variazioni contingenti e modifiche strutturalmente significative, e di valutarne la coerenza rispetto alla logica compositiva e costruttiva del progetto. Il modello così realizzato, integrando rilievo digitale e fonti documentali, si configura come un "modello del patrimonio", ovvero un Heritage Building Information Model (HBIM), che diventa strumento di lettura critica della stratificazione costruttiva, capace di connettere dati metrici e informazioni storiche in un sistema unitario, verificabile e aggiornabile nel tempo.

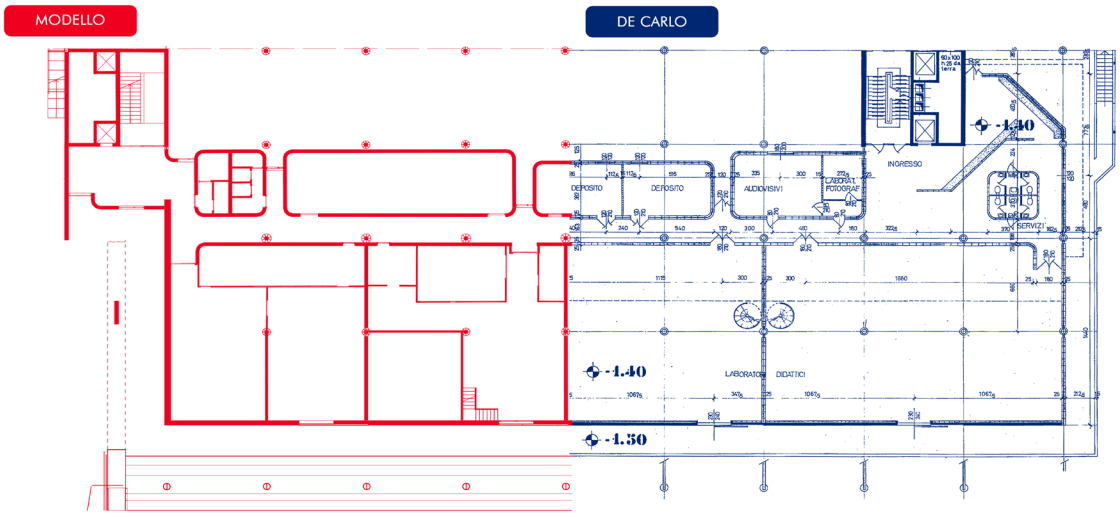


Fig. 3 - Accostamento tra la planimetria originale del piano A conservata presso l'Archivio Storico dell'Università di Pavia (1981) e la corrispondente planimetria estratta dal modello HBIM realizzato in Revit.

- Sviluppo di uno scenario progettuale parametrico

Il modello HBIM viene impiegato come supporto a una proposta di intervento concreta, ossia l'inserimento di un soppalco all'interno di un laboratorio del Blocco di Ingegneria. Attraverso la parametrizzazione geometrica del modello, si intende verificare la compatibilità dell'intervento con l'esistente, sia sul piano tecnico che su quello compositivo, dimostrando come la logica modulare del progetto di De Carlo, che costituisce al tempo stesso un principio formale e una condizione di adattabilità, trovi nel paradigma informativo del BIM uno strumento coerente di esplorazione e simulazione progettuale.

Nel complesso, la tesi si propone di contribuire al dibattito dell'applicazione del pro-

cesso Scan-To-Bim al patrimonio architettonico universitario del Novecento, con l'ambizione di definire un protocollo operativo replicabile e orientato a rendere la conoscenza dell'edificio non solo preservata, ma anche operativa.

3. STATO DELL'ARTE

3.1 QUADRO TEORICO E NORMATIVO

3.1.1 IL PATRIMONIO ARCHITETTONICO: CONSERVAZIONE, TRASFORMAZIONE E GESTIONE

La conservazione del patrimonio architettonico costituisce una sfida per la società contemporanea e per le pubbliche amministrazioni, che sono chiamate a preservare un'eredità costruita che rappresenta un insieme unico e insostituibile di valori estetici, storici e culturali [3] [4].

La conservazione preventiva e programmata si fonda sul principio che la tutela del patrimonio debba essere perseguita attraverso azioni continuative, finalizzate a mantenere le migliori condizioni d'uso e a ridurre i rischi di degrado materiale. Tale approccio richiede la messa a punto di piani di monitoraggio sistematici, capaci di rilevare nel tempo le variazioni delle condizioni dell'edificio e di fornire informazioni utili per pianificare interventi mirati.

Parallelamente alla dimensione della conservazione, il patrimonio costruito è oggi oggetto di processi di trasformazione e riuso adattivo, spesso necessari per garantirne la funzionalità e la sopravvivenza nel lungo periodo. Questo risulta essere particolarmente evidente nel caso del patrimonio architettonico universitario, dove gli edifici, solitamente soggetti a vincoli di tutela in quanto beni culturali ai sensi dell'art. 10 del D.Lgs. 42/2004, devono rispondere a esigenze d'uso contemporanee sempre più articolate. La gestione consapevole di questo tipo di patrimonio richiede pertanto strumenti che sappiano integrare le istanze della tutela con quelle della trasformazione, garantendo la tracciabilità degli interventi e la continuità della conoscenza nel tempo.

In questa prospettiva, il problema di una conoscenza insufficiente e frammentaria delle caratteristiche intrinseche del patrimonio costruito risulta oggi in parte affrontabile attraverso lo sviluppo di modelli digitali parametrici semanticamente arricchiti. Il processo di conoscenza, interpretazione e traduzione del manufatto in un modello digitale non è semplicemente un'operazione tecnica, ma assume valore di un ambito di studio e sperimentazione, dove la rappresentazione diventa strumento critico di conoscenza organizzata.

---

[3] D.Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, Codice dei beni culturali e del paesaggio, art. 1: "La tutela e la valorizzazione del patrimonio culturale concorrono a preservare la memoria della comunità nazionale e del suo territorio e a promuovere lo sviluppo della cultura.";

[4] Visone, M., Conoscenza e tutela del patrimonio architettonico moderno e contemporaneo: esperienze a confronto, in Atti del convegno MAXXI, Fondazione Scuola del Patrimonio, Roma, 2022.

3.1.2 PRINCIPI DEL BIM, LIVELLI INFORMATIVI E CICLO DI VITA

Il Building Information Modeling (BIM) è una metodologia di rappresentazione e gestione delle informazioni relative a un edificio, basata sulla costruzione di un modello tridimensionale parametrico in cui ogni elemento è associato a un insieme strutturato di dati geometrici, materici e informativi. A partire dall'inizio del XXI secolo, i processi applicati al ciclo di vita degli edifici e delle infrastrutture civili si sono progressivamente riformulati attorno a questa tecnologia, che consente non solo la rappresentazione dello spazio fisico, ma anche la gestione integrata delle informazioni lungo tutte le fasi del progetto, dalla progettazione alla costruzione, dalla gestione alla manutenzione. La metodologia BIM convoglia una possibile combinazione tra rappresentazione simbolica e modellazione numerica, rispondendo a esigenze cognitive e descrittive sia sul progetto di nuova costruzione, che sul patrimonio costruito.

Un elemento fondamentale del paradigma BIM è la nozione di Livello Di Dettaglio (LOD), che definisce il grado di completezza geometrica e informativa degli oggetti che compongono il modello in relazione agli usi previsti e alla fase di processo. In italia, la norma UNI 11337-4 regola i livelli di dettaglio. Essa adotta una classificazione per lettere (LOD A-F) e distingue tra LOI (Level of Informations) e LOG (Level of Geometry). A livello internazionale invece è diffuso lo standard AIA, con valori numerici (LOD 100-500). La definizione a priori del LOD non è una scelta unicamente tecnica, ma orienta la struttura stessa del modello, la sua verificabilità e la sua capacità di essere aggiornato nel tempo in funzione degli obiettivi di conservazione e gestione.

In quest'ottica, il modello BIM non risulta essere un elaborato statico, ma un sistema informativo in continua evoluzione: il LOD può essere incrementato in qualsiasi momento, rendendo il modello modificabile in modo rapido ed efficace e aumentando progressivamente la sua utilità come strumento di supporto alle decisioni. Questa caratteristica risulta particolarmente rilevante nel contesto del patrimonio esistente, dove la conoscenza dell'edificio si costruisce per strati successivi, integrando rilievo, fonti documentali, analisi diagnostiche e dati manutentivi in un sistema sempre aggiornabile e interrogabile.

3.1.3 IL PROCESSO SCAN TO BIM: METODOLOGIA

Il processo Scan-To-BIM è la declinazione operativa del BIM applicato all'esistente: a partire da un rilievo digitale, condotto, ad esempio, con laser scanner o fotogrammetria, si genera un modello parametrico tridimensionale che riproduce lo stato di fatto dell'edificio con elevata affidabilità morfometrica. Si parla di HBIM (Heritage Building Information Modeling) quando questo processo è applicato al patrimo-

nio architettonico o di interesse culturale , in cui si realizza un modello in cui ogni elemento geometrico è collegato a un database contenente informazioni di diversa natura, come materiali, tecniche costruttive, stati conservativi o interventi pregressi, e insieme realizzano un quadro informativo costantemente integrabile.

Le principali fasi che caratterizzano il processo Scan-To-BIM si possono articolare in quattro momenti principali: acquisizione del dato; elaborazione del dato; modellazione parametrica; integrazione informativa. La fase di acquisizione si avvale di tecnologie di rilievo ad alta precisione, tra cui laser scanning terrestre (TLS) o sistemi mobili (SLAM), capaci di produrre nuvole di punti a colori con accuratezze dell'ordine del millimetro. La nuvola di punti così ottenuta costituisce un riferimento metrico fondamentale per l'intero processo [5].

La successiva fase di modellazione parametrica non è un processo automatico, ma richiede un'interpretazione critica da parte dell'operatore, il quale deve stabilire a priori quali elementi modellare e con quale Livello Di Dettaglio.
In Revit, il software di modellazione BIM utilizzato, ogni elemento dell'edificio appartiene a una "famiglia", ovvero una categoria di oggetti parametrici che ne definisce geometria e proprietà. Gli elementi strutturali continui come muri, solai, scale, già integrati nel software, costituiscono le "famiglie di sistema"; gli elementi ricorrenti ma personalizzabili, come porte, finestre, pilastri, vengono invece creati come file esterni e importati nel progetto e costituiscono le "famiglie caricabili". La definizione di "famiglie di sistema" e di "famiglie caricabili" consente di allineare la logica del BIM con le specificità costruttive del caso studio, producendo un modello geometricamente accurato, semanticamente ricco e funzionale a molteplici usi.

Il processo Scan-To-BIM, pur fondandosi su procedure consolidate, assume carattere sperimentale quando applicato a contesti specifici, essendo di volta in volta soggetto alle particolari qualità del patrimonio oggetto di indagine.

3.1.4 IL BIM NEL CONTESTO NORMATIVO

In Italia, il quadro normativo in materia di BIM ha subito una forte strutturazione negli ultimi anni. Il Nuovo Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 36/2023), ha reso obbligatorio l'utilizzo del Bim per tutti gli appalti di progettazione e i lavori con valore stimato superiore ai 2 milioni di euro a partire dal 1° Gennaio 2025, sottolineando l'urgenza di digitalizzare il patrimonio pubblico esistente. Questa normativa riguarda

[5] Zhao, L., Zhang, H., Wang, H., Wang, Y., & Li, T. (2025). A digital-twin evaluation framework of zero carbon buildings for existing residential buildings based on scan-to-BIM. Alexandria Engineering Journal, 124, 204-213.

direttamente la categoria degli edifici universitari, che rientrano nella definizione di beni culturali ai sensi dell'art. 10 del D.Lgs. 42/2004 ("codice dei beni culturali e del paesaggio") e sono soggetti a specifici vincoli di tutela che condizionano le modalità di intervento e la documentazione correlata.

I livelli di sviluppo del modello BIM sono definiti dalla UNI 11337. In particolare la UNI 11337-4 stabilisce la classificazione dei LOD e la distinzione tra contenuto geometrico (LOG) e contenuto informativo (LOI). L'integrazione tra rilievo digitale e modellazione parametrica trova riferimento nella UNI EN 17543:2021 ("Conservazione del patrimonio culturale – Finiture per il patrimonio costruito – Indagini e documentazione") che riconosce l'HBIM come strumento operativo per la conservazione, la gestione e la tutela del patrimonio costruito. Tale quadro normativo, in continua evoluzione, delinea uno scenario in cui la digitalizzazione del patrimonio costruito si configura come requisito per una gestione consapevole degli edifici ad uso pubblico esistenti nel loro ciclo di vita [6] [7] [8].

[6] Rodriguez Polania, D., & Osello, A. Developing a Digital Twin for Tunnel Lining in Mechanized Tunneling Construction. Available at SSRN 4968828.;
[7] Di Filippo, A. (2023). Transition to Parametric Modelling in Heritage Documentation. DISÉGNO-OPEN ACCESS, 6, 2685-2691.
[8] Galasso, F., Ricciarini, M., Bertocci, S. (2025). Managing open H-BIM models for data interoperability. 3D MODELING & BIM, 69–80.

3.2 CASO STUDIO: IL POLO CRAVINO

3.2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE, URBANO E STORICO

L'università di Pavia è una delle istituzioni accademiche più antiche d'Europa, fondata nel 1361 per volontà del duca Galeazzo II Visconti. Nel corso dei secoli, l'ateneo si è sviluppato all'interno del centro storico della città, distribuendo le proprie sedi tra edifici di diversa origine (complessi monastici, ospedali, edifici civili) adattati nel tempo alle funzioni universitarie. Questa stratificazione ha reso l'università parte integrante dell'identità urbana di Pavia, in un rapporto di reciproca appartenenza tra istituzione e città.

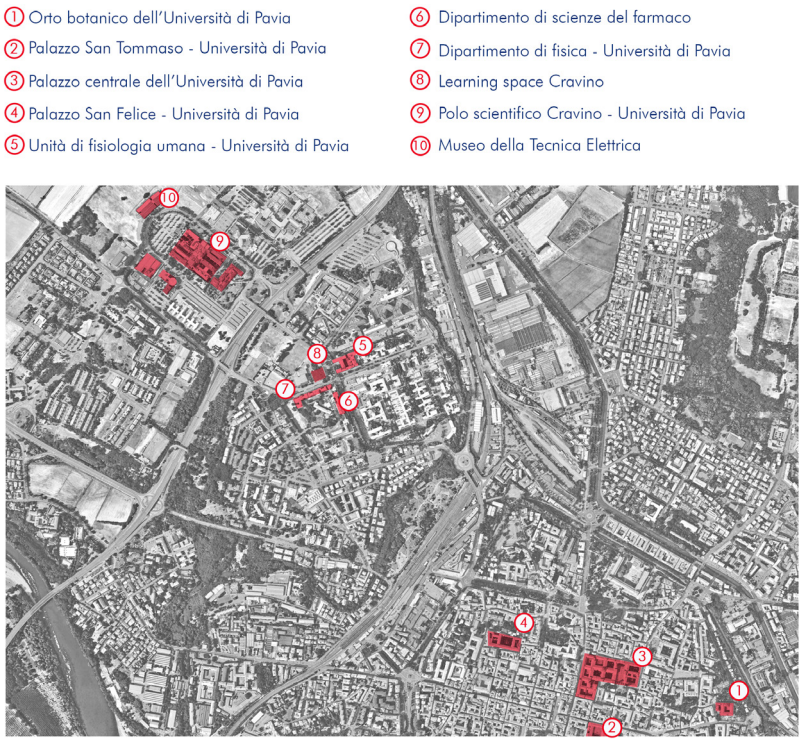


Fig. 4 - Planimetria della città di Pavia con l'indicazione in rosso delle principali sedi universitarie. Il Polo Cravino si distingue per la sua posizione periferica rispetto al centro storico.

Nel secondo dopoguerra, la crescita progressiva del numero di iscritti, rese evidente l'inadeguatezza degli spazi esistenti, soprattutto per le discipline scientifiche, che richiedevano laboratori specializzati e ambienti di grandi dimensioni difficilmente ricavabili nel tessuto del centro storico. La risposta dell'ateneo fu l'acquisizione di alcuni lotti nella zona nord-ovest della città, nel quartiere Cravino, scelto per la disponibilità di spazi e per la possibilità di realizzare un polo scientifico ex novo. La localizzazione decentrata poneva però una questione progettuale fondamentale, ossia in che modo mantenere la connessione con le sedi umanistiche del centro storico senza frammentare l'identità dell'università.

Per rispondere a questa domanda, nell'ottobre del 1970, il rettore Antonio Fornari

affidò l'incarico di progettazione a Giancarlo De Carlo [9] [10]. La scelta era motivata dalle numerose esperienze che l'architetto aveva maturato sul tema dell'edilizia universitaria: dai progetti per l'università di Urbino, dove aveva sviluppato l'idea di "città-campus", alla partecipazione a concorsi internazionali e all'insegnamento in università americane. Negli anni Settanta De Carlo aveva inoltre curato una ricerca specifica sul rapporto tra edilizia universitaria e città in Italia, sviluppando una visione progettuale in cui l'università diventa parte attiva del territorio e stimolo di rigenerazione urbana [11].

3.2.2 CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE E COSTRUTTIVE DELL'EDIFICIO

Trovandosi a progettare nell'area del Cravino, De Carlo optò per un sistema multipolare: una rete di poli, centrali, intermedi e periferici, capace di distribuire le funzioni universitarie nel territorio e di far dialogare il nuovo polo scientifico con il resto della città. Il principio ordinatore dell'intero complesso è una griglia modulare ortogonale che organizza percorsi, spazi aperti ed edifici, e che costituisce il linguaggio formale e la condizione di flessibilità del progetto.

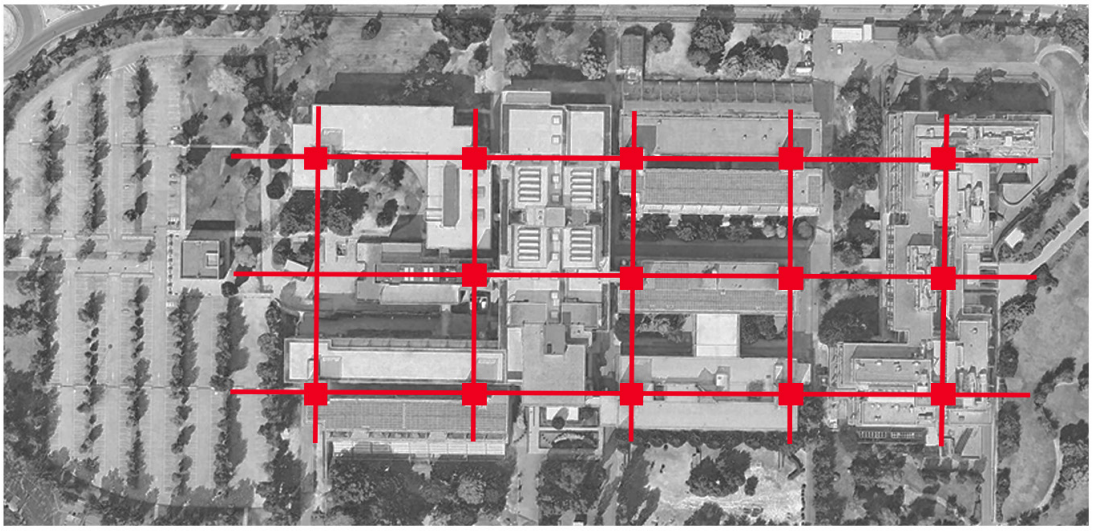


Fig. 5 - Vista aerea del Polo Cravino con evidenziata la griglia modulare che De Carlo adottò come principio ordinatore dell'intero complesso, regolandone la distribuzione planimetrica e le relazioni tra i corpi di fabbrica.

[9] Turri, F. (2020). Sui due volumi dell'Almun Studium Papiense. Storia dell'Università di Pavia. 3. Il Ventesimo secolo (a cura di D. Mantovani). «Ieri bella campagna, oggi Università: il Campus Cravino», pp. 745–770. Cisalpino, Milano.;

[10] Cattaneo, A., Baratin, L., Gasparetto, F. (2020). L'Università di Urbino e gli interventi di Giancarlo De Carlo: un rapporto tra edifici storici e nuovi campus universitari con particolare attenzione alle sfide future.

[11] Per un approfondimento sulla visione progettuale di De Carlo sul rapporto tra università e città si veda: De Carlo G., Architettura città università. Disegni, Alinea, Firenze, 1982.

Il primo edificio ad uso universitario realizzato è il Blocco di Ingegneria, la cui costruzione è documentata dagli elaborati d'archivio dell'aprile 1981 [12]. L'edificio è composto da due corpi di fabbrica che si sviluppano orizzontalmente, affacciati su una corte interna rettangolare. I due volumi si elevano per quattro piani, e sono reciprocamente sfalsati di mezzo piano. In questa maniera De Carlo voleva incentivare il passaggio attraverso gli spazi comuni e favorire l'incontro tra le persone, conferendo dinamismo verticale ad un organismo altrimenti molto lineare. All'interno, le partizioni in pannelli di laminato mobili consentono di riconfigurare gli spazi senza intaccare la struttura, in linea con la visione di un edificio pensato per evolversi insieme alle esigenze dell'utenza.



Fig. 6 - Il Polo Cravino nei primi anni di utilizzo: vedute degli spazi interni e dell'esterno del complesso.

[12] Elaborati grafici di progetto, aprile 1981, Giancarlo De Carlo con Arch. Fausto Colombo. Archivio Disegni del Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura (DICAr), Università di Pavia.

Il perimetro esterno è definito dalla griglia modulare, espressa attraverso calcestruzzo a vista, travi profilate in acciaio e pilastri a sezione circolare. La distribuzione funzionale segue una logica precisa: al piano terra sono presenti i laboratori di ricerca di grandi dimensioni, aperti e accessibili; ai piani intermedi i laboratori didattici specializzati; all'ultimo livello gli uffici di professori e ricercatori. La realizzazione dell'intero complesso si estese dal 1981 fino al 2003, anno di completamento del Nuovo Polo Didattico. Oggi il polo ospita i Dipartimenti di ingegneria civile e architettura, Matematica, chimica, biologia, elettronica e scienze della terra, oltre alla Biblioteca delle Scienze e della Tecnica [13].

3.2.3 STATO DI CONSERVAZIONE E CRITICITÀ

A oltre quarant'anni dall'inaugurazione, il Blocco di ingegneria conserva nella sostanza la struttura e il linguaggio architettonico originari, ma mostra chiaramente i segni di un uso intenso e di numerosi adattamenti nel tempo. I laboratori didattici sono oggi spazi polivalenti, attrezzati con postazioni informatiche, aree di coworking, pareti per la prototipazione, set fotografici, che hanno mantenuto la struttura portante originaria, ma all'interno dei quali le partizioni e gli impianti sono stati più volte modificati.

Il confronto tra gli elaborati d'archivio e lo stato attuale rivela alcune variazioni rispetto al progetto originale: il sistema di collegamento verticale interno tra i livelli sfalsati A e C non è stato realizzato; al suo posto sono stati inseriti setti verticali che hanno permesso di ricavare piccole aule e sale riunioni; in alcuni ambienti, tramezzi in cartongesso e soppalchi hanno ulteriormente ridisegnato gli spazi interni. Si aggiungono poi interventi impiantistici inseriti in risposta a esigenze operative, non sempre integrati in modo coerente con il linguaggio voluto da De Carlo.

Sul fronte della documentazione, gli elaborati tecnici relativi all'edificio sono conservati presso l'Archivio Storico dell'Università di Pavia e l'Archivio Disegni del DICAr, e comprendono tavole in carta e lucidi, relazioni tecniche, computi e atti di pagamento, databili dagli anni Settanta ad oggi. L'analisi di questo materiale ha permesso di ricostruire la stratigrafia costruttiva e di identificare le trasformazioni più significative, confermando come il Blocco di Ingegneria sia un caso in cui la grammatica modulare originaria resiste come matrice attiva, ma in cui la distanza tra "progettato" e "realizzato" rende necessario uno strumento di analisi capace di governare questa complessità. È esattamente in questo scenario che il processo Scan-To-BIM esprime al meglio il suo potenziale.

[13] Per le caratteristiche architettoniche e costruttive del Blocco di Ingegneria si fa riferimento principalmente a Turri F. (2007) e Turri F. (2020), fonti primarie per la ricostruzione della logica progettuale e dei caratteri costruttivi del complesso

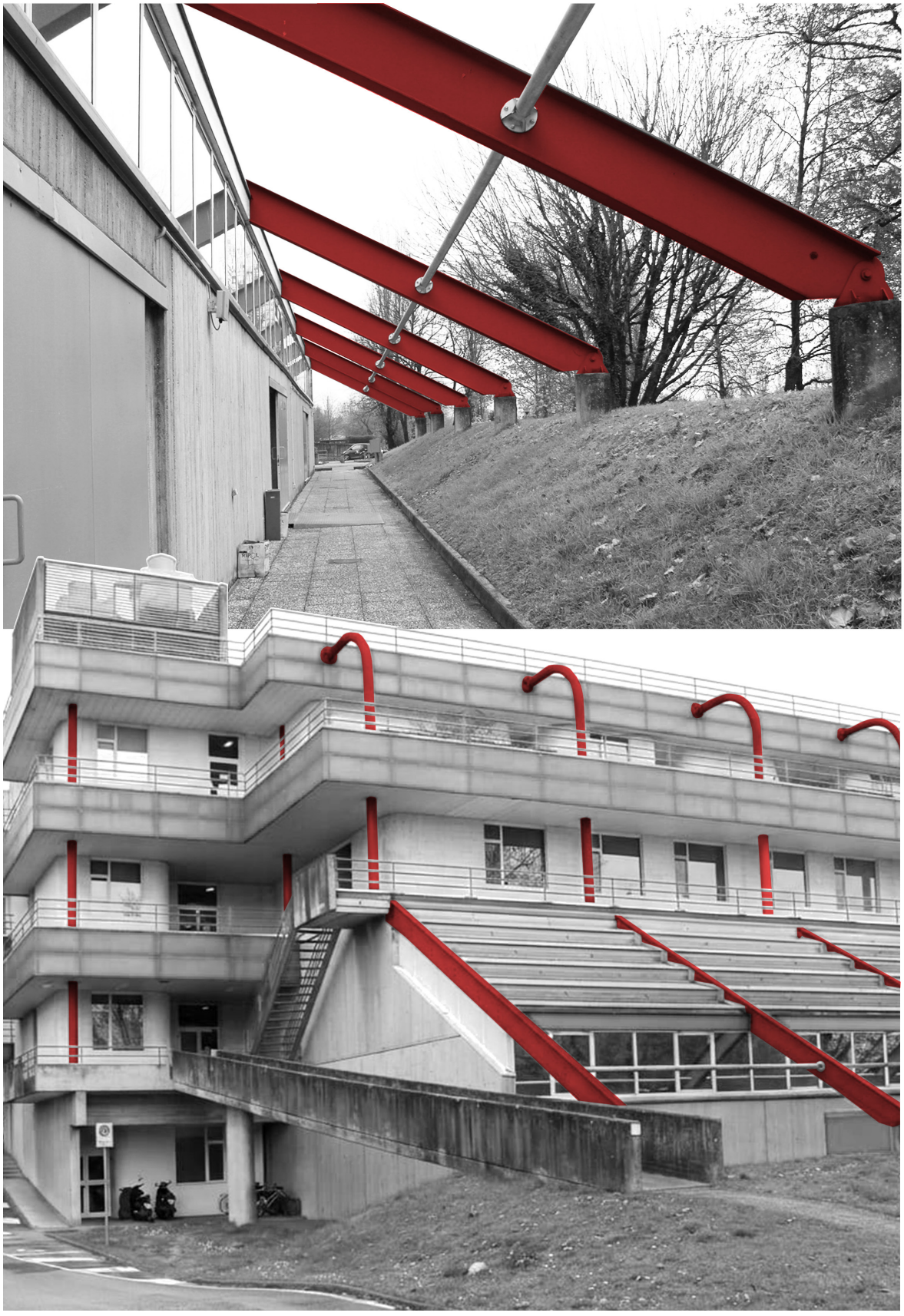


Fig. 7 - Il sistema strutturale in acciaio del Polo Cravino nelle vedute esterne allo stato attuale. Le immagini documentano la distribuzione degli elementi portanti sulla facciata del complesso, che costituiscono uno dei riferimenti geometrici fondamentali per la costruzione del modello HBIM.

4. METODOLOGIA

4.1 ACQUISIZIONE DELLO STATO DI FATTO

4.1.1 CAMPAGNA DI RILIEVO E STRUMENTI UTILIZZATI

Prima di avviare la campagna di acquisizione vera e propria, sono stati condotti una serie di sopralluoghi preliminari nel Polo Cravino, indispensabili per comprendere direttamente la conformazione dell'organismo architettonico e per pianificare la campagna in funzione delle sue criticità morfologiche e operative. I sopralluoghi hanno riguardato l'intero complesso, in particolare il blocco di ingegneria e il suo intorno immediato. L'area di indagine si estende per circa 3000 metri quadri e occupa un volume verticale di quattro piani fuori terra. Al piano terra si trovano i laboratori di ricerca dedicati ad analisi e prove sperimentali; i due piani intermedi ospitano laboratori didattici specializzati di dimensioni più contenute; l'ultimo livello è riservato agli uffici di professori e ricercatori.



Fig. 8 - Sopralluogo conoscitivo degli spazi del Polo Cravino in preparazione alla campagna di rilievo laser scanner. La fase di sopralluogo ha permesso di pianificare il posizionamento delle stazioni di acquisizione e di individuare eventuali criticità geometriche.

Per garantire un'elevata affidabilità morfometrica nella restituzione dello stato di fatto, è stato scelto il laser scanner statico Leica RTC360, strumento particolarmente adatto alla documentazione di architetture complesse grazie alla rapidità di acquisizione, superiore a due milioni di punti al secondo, e alla possibilità di produrre nuvole di punti a colori attraverso un sistema di imaging HDR integrato. La scelta di uno strumento TLS è stata dettata dalla necessità di raggiungere tolleranze metriche nell'ordine del millimetri, indispensabili per una modellazione BIM affidabile e verificabile.



Fig. 9 - Il laser scanner Leica RTC360 utilizzato per la campagna di rilievo del Polo Cravino.

RILIEVO SUL CAMPO



Fig. 10 - Fasi della campagna di rilievo laser scanner presso il Polo Cravino. Le immagini documentano il posizionamento del Leica RTC360 nelle stazioni di acquisizione.

La campagna di documentazione è stata articolata in due macro-fasi distinte, per un totale di 350 scansioni acquisite nell'arco di 5 giorni di lavoro. La prima fase ha riguardato gli spazi esterni al piano terra, con l'obiettivo di impostare una poligonale chiusa di controllo lungo il perimetro dell'edificio. Questo riferimento geometrico stabile ha consentito di valutare l'errore complessivo e di costruire una base metrica verificabile entro cui inserire progressivamente le scansioni degli interni. La seconda fase, invece, ha riguardato gli spazi interni, i cortili e le coperture, utilizzati come elementi di raccordo tra rilievo esterno e interno. Questa suddivisione non è stata dettata soltanto da ragioni logistiche – l'edificio era in piena attività durante tutta la campa-

gna – ma ha risposto soprattutto a precise esigenze di controllo metrico e affidabilità della registrazione [14].

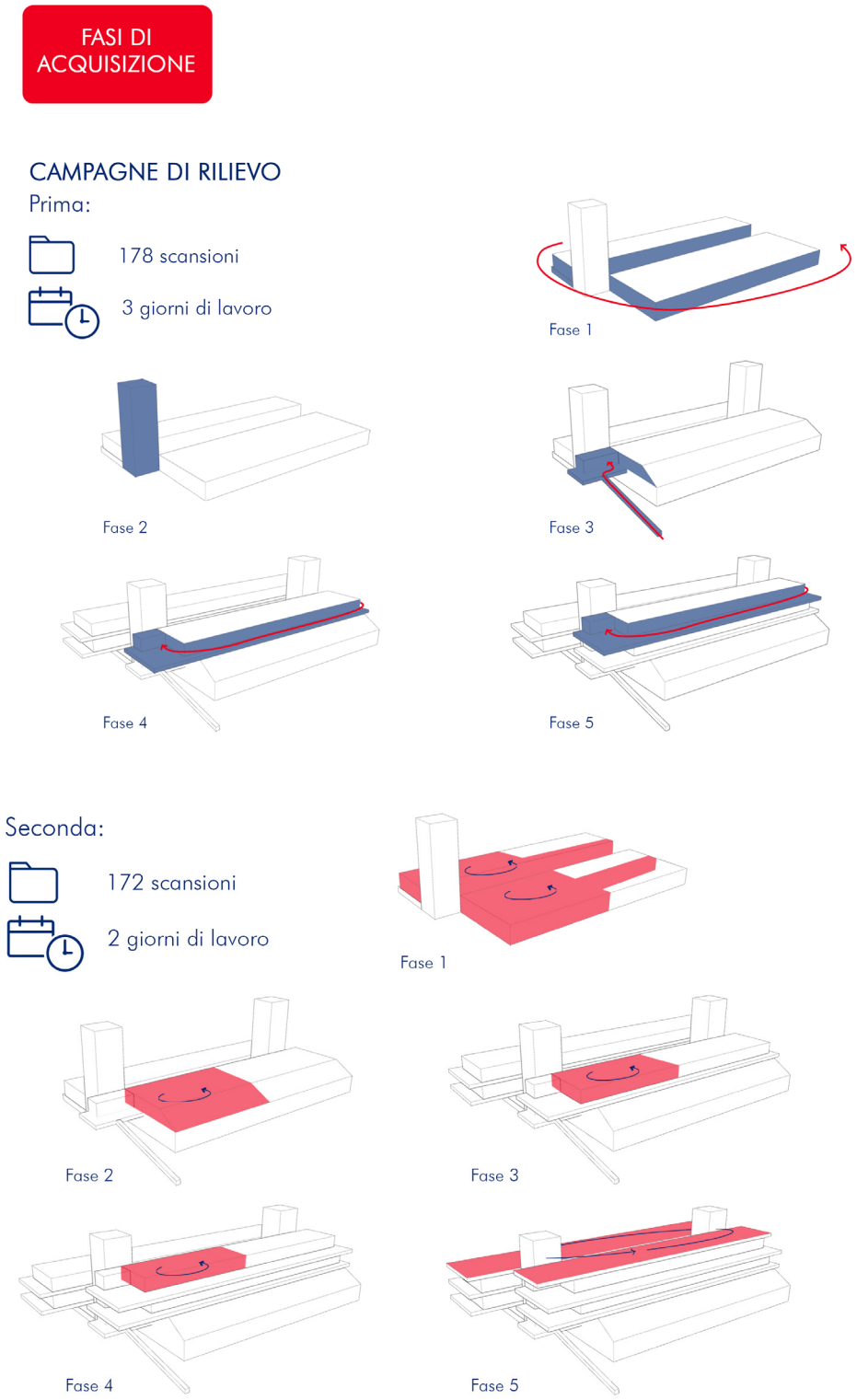


Fig. 11 - Schema delle fasi di acquisizione delle due campagne di rilievo laser scanner condotte presso il Polo Cravino.

[14] Dell'Amico, A., Sanseverino, A., & Albertario, S. (2023). Point cloud data semantization for parametric scan-to-HBIM modeling procedures. In Beyond Digital Representation: Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design (pp. 515-533). Cham: Springer Nature Switzerland.

La modularità dell'edificio ha rappresentato la criticità tecnica più rilevante durante le acquisizioni. La ripetizione di corridoi lineari, vani scala dalla configurazione analoga e sequenze spaziali molto simili tra loro, combinata con la presenza di superfici vetrate e materiali riflettenti, aumentava significativamente il rischio di errori in fase di registrazione, con possibili sovrapposizioni indebite tra porzioni lontane ma morfologicamente simili. Per limitare questi rischi, la rete di acquisizione è stata progettata con un'elevata sovrapposizione tra scansioni adiacenti e con un impiego di target black and white nei punti più critici (punti con scarsa riconoscibilità geometrica) così da vincolare la registrazione e ridurre le ambiguità in fase di post-produzione.

In un organismo architettonico così articolato e intensamente frequentato, un'ulteriore difficoltà è stata data dalla presenza costante di persone, arredi e attrezzature non spostabili che ha richiesto un'attenta pianificazione delle sessioni di lavoro e successive operazioni di pulizia nella nuvola con il fine di rimuovere elementi di disturbo. Infine, poiché la maggior parte degli ambienti interni è dotata di controsoffitto, che impedisce il rilievo diretto dello spessore dei solai, i dati mancanti sono stati integrati mediante misurazioni puntuali con distanziometro laser, effettuate in corrispondenza di un'apertura temporanea delle pannellature per scopi manutentivi.

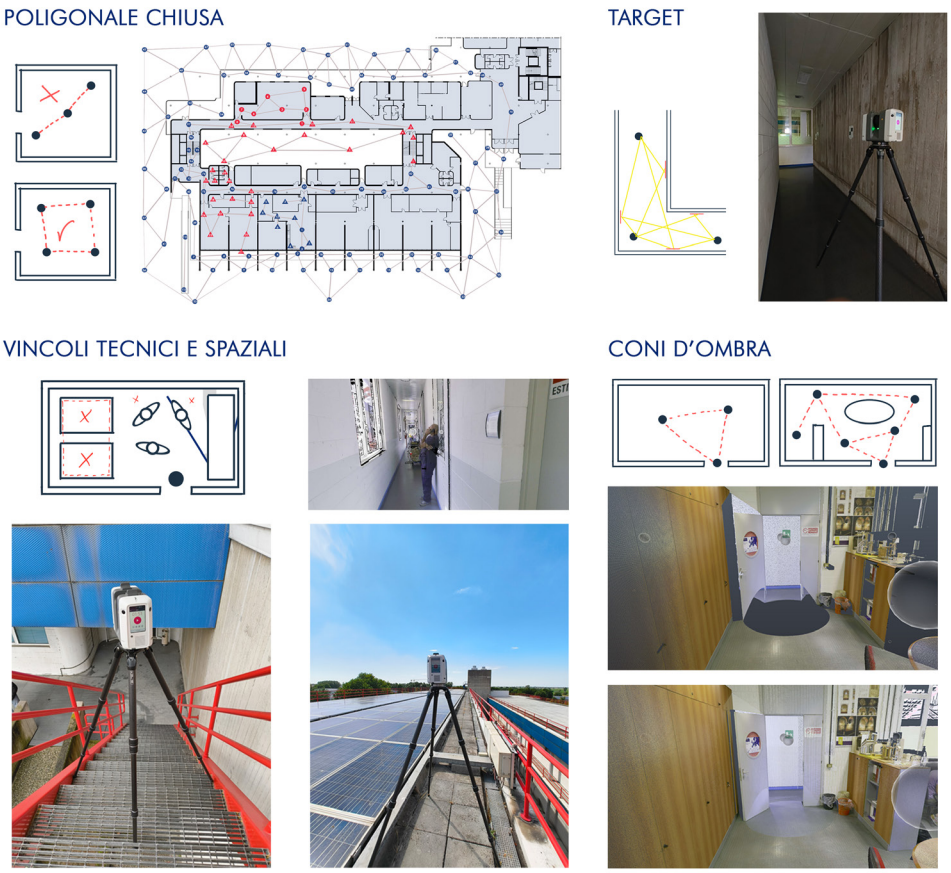


Fig. 12 - Criticità affrontate durante la campagna di rilievo laser scanner: superfici riflettenti, zone di scarsa accessibilità e interferenze con elementi di arredo hanno richiesto adattamenti nella disposizione delle stazioni di acquisizione.

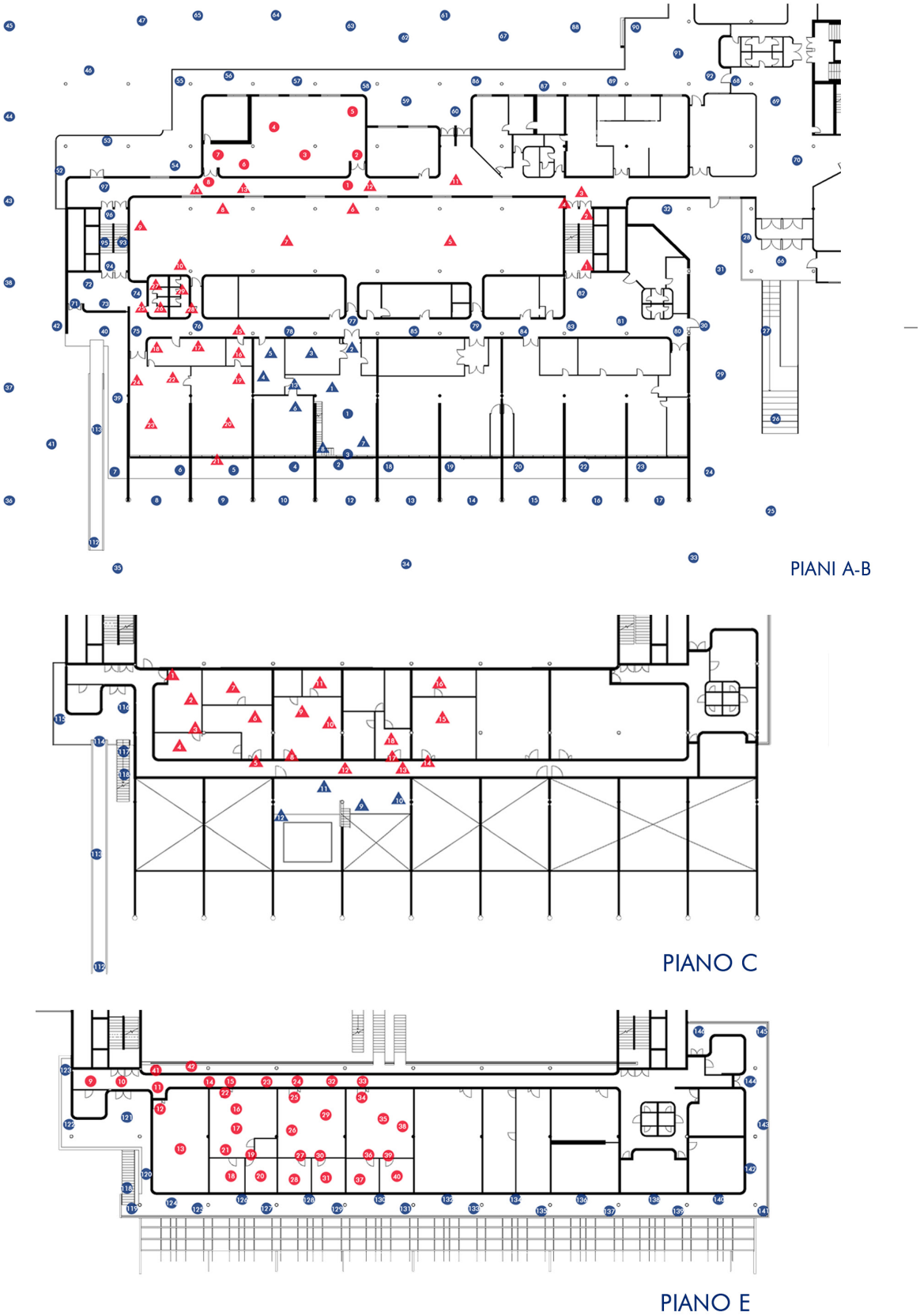


Fig. 13 - Schema planimetrico dei piani A-B-C-E con l'indicazione del posizionamento di tutte le stazioni di scansione acquisite nelle due campagne di rilievo. La distribuzione delle stazioni è stata pianificata in modo da garantire la massima copertura degli spazi e un adeguato grado di sovrapposizione tra le scansioni adiacenti.

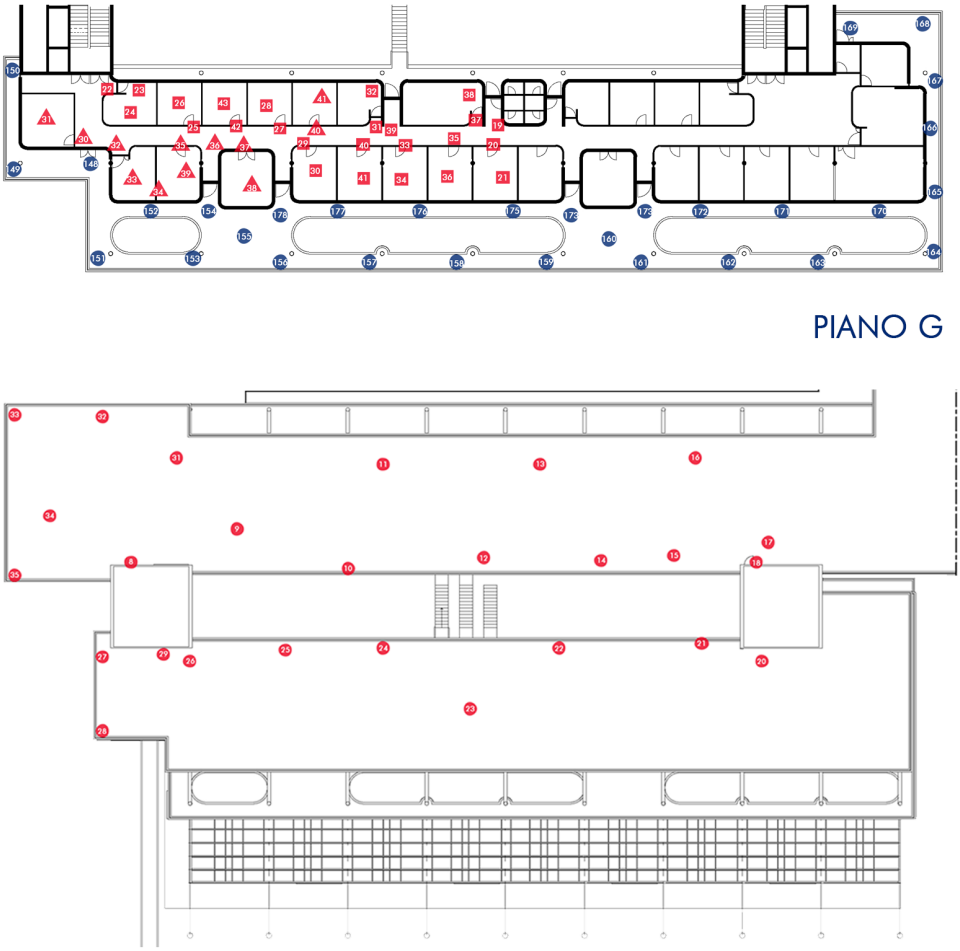


Fig. 14 - Schema planimetrico dei piani G e della copertura del Polo Cravino con l'indicazione del posizionamento di tutte le stazioni di scansione acquisite nelle due campagne di rilievo. La distribuzione delle stazioni ha garantito la copertura completa anche dei livelli sommitali del complesso.



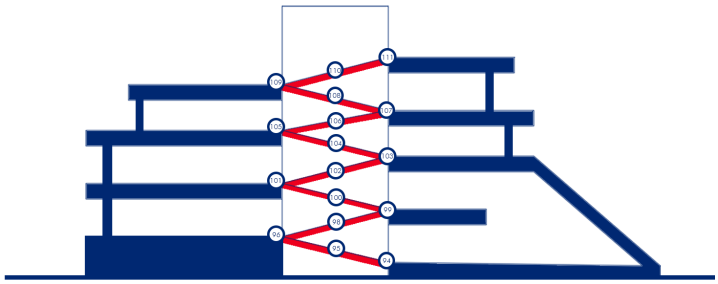


Fig. 15 - Sezione verticale sul blocco scale del Polo Cravino con l'indicazione del posizionamento delle stazioni di scansione. La vista in sezione evidenzia la distribuzione delle acquisizioni nei livelli sfalsati, zona di particolare complessità geometrica per la continuità del rilievo.

4.1.2 ELABORAZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI

Una volta conclusa la campagna di acquisizione. Il dataset di 350 scansioni è stato suddiviso nei due sottoinsiemi impostati in fase di rilievo, esterno e interno, e gestito separatamente nelle operazioni di registrazione, verifica e successiva integrazione. Questa scelta ha consentito di mantenere il controllo sull'errore all'interno di blocchi contenuti, prima di procedere con l'unione finale.

La registrazione è stata avviata su Autodesk Recap, che permette un allineamento manuale tramite selezione di punti corrispondenti tra scansioni adiacenti. Il software presenta un indicatore di qualità dell'allineamento che però non risulta sempre affidabile e richiede sempre una verifica critica da parte dell'operatore. Inoltre, la gestione di dataset di grandi dimensioni risultava essere poco fluida e complessa. Per questo motivo, si è deciso di condurre la registrazione manuale su Leica Cyclone Core, adottando una modalità di lavoro visuale, ossia coppie di scansioni adiacenti venivano allineate per rotazione e traslazione direttamente nello spazio tridimensionale, senza necessità di selezionare punti omologhi. Questo software garantisce un buon controllo sulla nuvola e, nonostante la procedura sia manuale, risulta relativamente rapida.

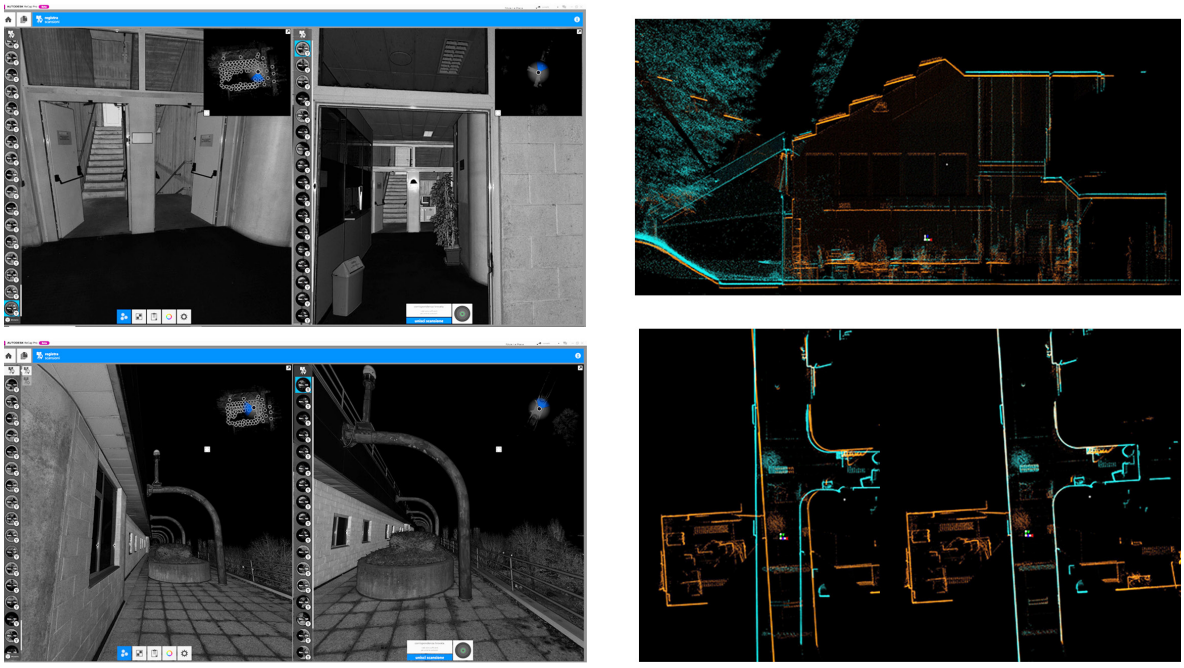


Fig. 16 - Confronto tra le interfacce di allineamento della nuvola di punti in Autodesk ReCap (sinistra) e Leica Cyclone Core (destra). Si illustrano le differenti modalità di registrazione adottate nei due software, evidenziando le specificità operative di ciascun ambiente nella gestione delle scansioni acquisite con il Leica RTC360.

Durante le prime fasi di registrazione sono però emerse alcune criticità significative, legate in parte alle caratteristiche intrinseche dell'edificio. La forte ripetitività degli ambienti aumentava il rischio di associazioni errate tra scansioni non contigue, con possibili sovrapposizioni indebite in fase di allineamento automatico. Parallelamente, si sono riscontrate anomalie nella componente cromatica nella nuvola. In alcune porzioni, la colorizzazione della nuvola risultava discontinua o disaccoppiata dalla geometria misurata. Questo problema è stato attribuito principalmente alla presenza di superfici riflettenti e vetrate, che generano artefatti e lacune sia nella misura, che nell'associazione tra immagini e punti.

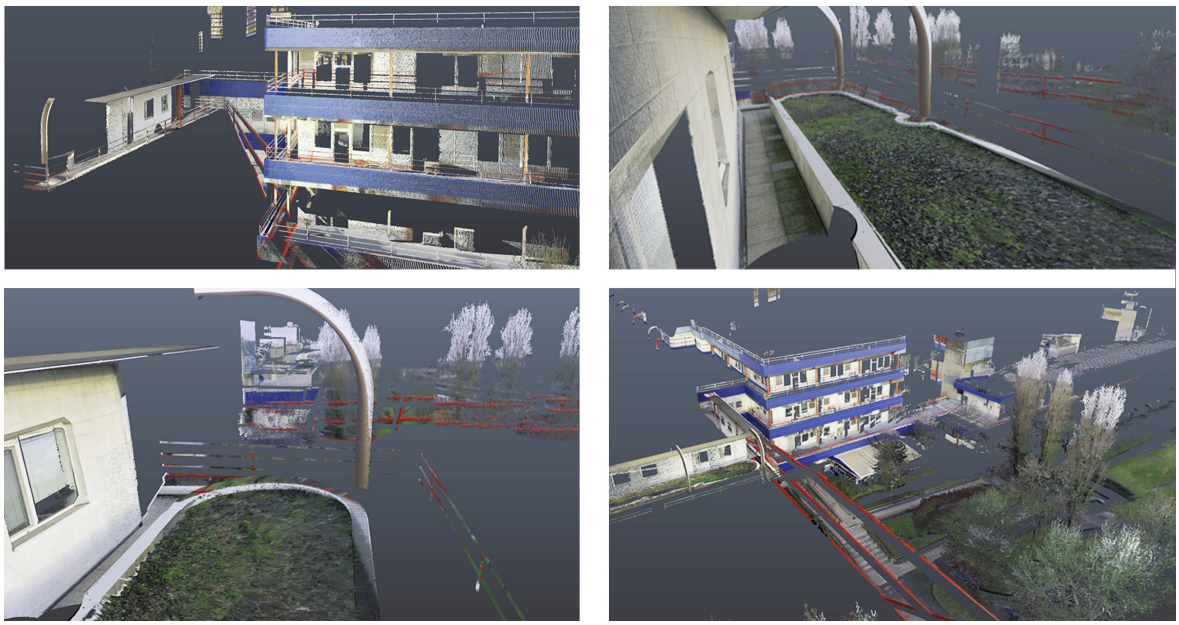


Fig. 17 - Schermate della nuvola di punti con distribuzione errata del colore, evidenziante la disomogeneità cromatica tra scansioni adiacenti.

Per risolvere questa criticità, la registrazione è stata ripetuta utilizzando Leica Cyclone Register360, software in grado di gestire con maggiore efficienza dataset di grandi dimensioni e di supportare un processo di ottimizzazione dell'allineamento più solido. Mantenendo invariata la struttura dei due blocchi, il workflow è stato affinato attraverso un'ottimizzazione progressiva per gruppi. In questo modo, ogni sottoinsieme veniva ottimizzato internamente prima di essere integrato con gli altri, riducendo la propagazione dell'errore [15]. Il blocco delle scale, grazie alla sua continuità verticale e riconoscibilità geometrica, è stato utilizzato come elemento di connessione sia tra i diversi gruppi di scansioni dello stesso piano, sia tra dataset di diversi piani.

[15] Morandotti, M., Parrinello, S., Picchio, F., De Marco, R., Becherini, P., Dell'Amico, A., ... & Malusardi, C. (2019). L'Università di Pavia. I cortili e gli ambienti monumentali. Un progetto di documentazione digitale e sviluppo di sistemi di gestione per la manutenzione programmata. VII Convegno Internazionale ReUSO Matera-Patrimonio in divenire, A. Conte and A. Guida, Eds., Rome (Italy): Gangemi Editore, 863-874.

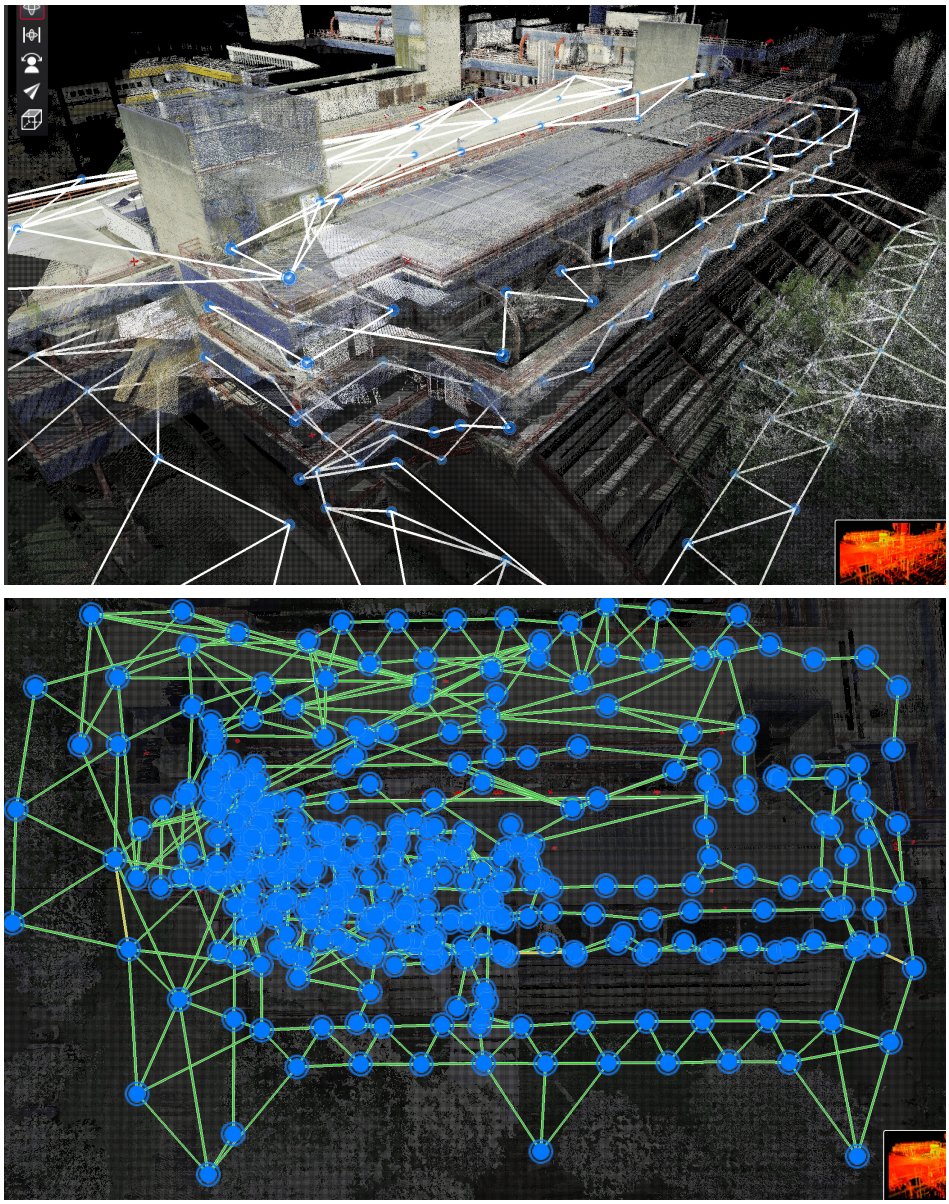


Fig. 18 - Schermata di Leica Cyclone Register 360 che mostra la rete di collegamenti tra le stazioni di scansione in fase di registrazione. I nodi rappresentano le singole acquisizioni, mentre i collegamenti indicano le sovrapposizioni utilizzate per il calcolo dell'allineamento globale della nuvola di punti.

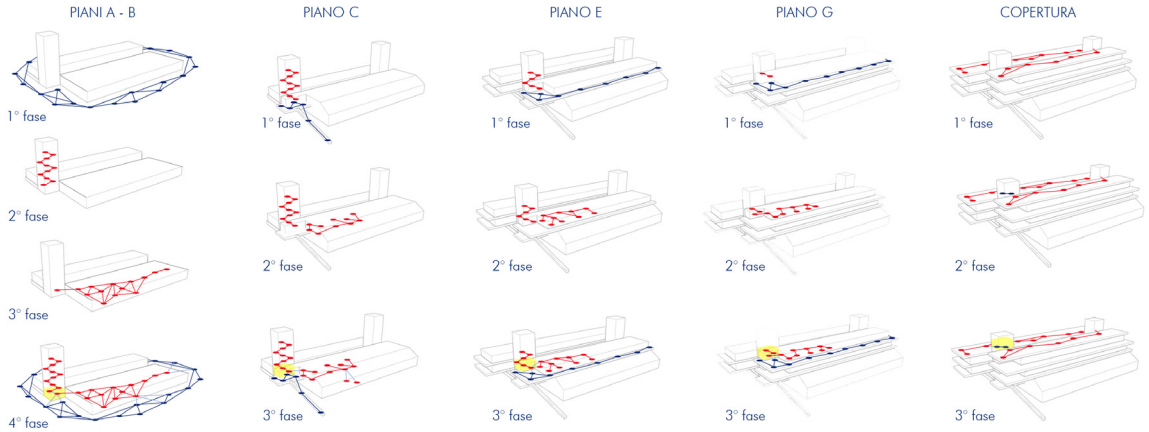


Fig. 19 - La sequenza operativa di registrazione della nuvola di punti in Leica Cyclone Register 360. Il processo illustra le fasi successive di allineamento delle scansioni.

L’esito della procedura di registrazione ha restituito un errore complessivo di allineamento pari a 4 mm sull’intero dataset di 350 scansioni, pienamente entro la tolleranza prefissata e adeguato a costituire una base metrica affidabile per la successiva fase di modellazione.
La nuvola registrata è stata poi importata nuovamente in Autodesk Recap per le operazioni di pulizia e ottimizzazione. Qui sono stati eliminati i punti in eccesso e rimosse alcune porzioni di nuvola incoerenti dovute ai riflessi delle superfici vetrate. Infine, per ridurre il peso computazionale e rendere più agevole la gestione in Autodesk Revit, il dato è stato suddiviso in regioni attivabili selettivamente, permettendo di lavorare volta per volta sulle sole porzioni di interesse e migliorando la fluidità della visualizzazione e della modellazione.

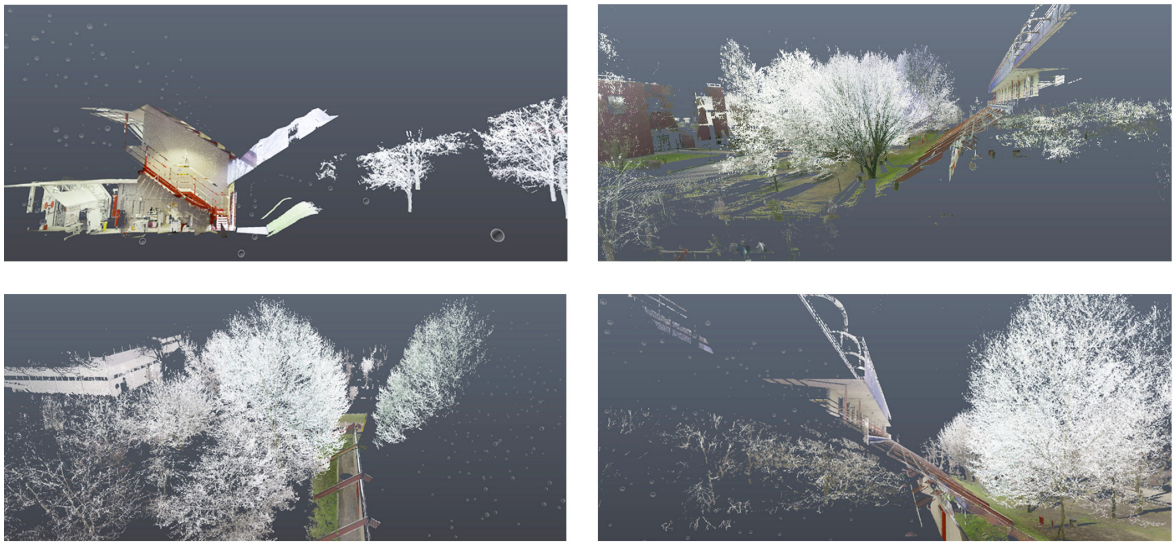


Fig. 20 - Schermate delle fasi di pulizia della nuvola di punti in Autodesk ReCap. Il processo ha comportato la rimozione di elementi di disturbo al fine di ottenere una nuvola ottimizzata da importare nel modello HBIM in Revit.

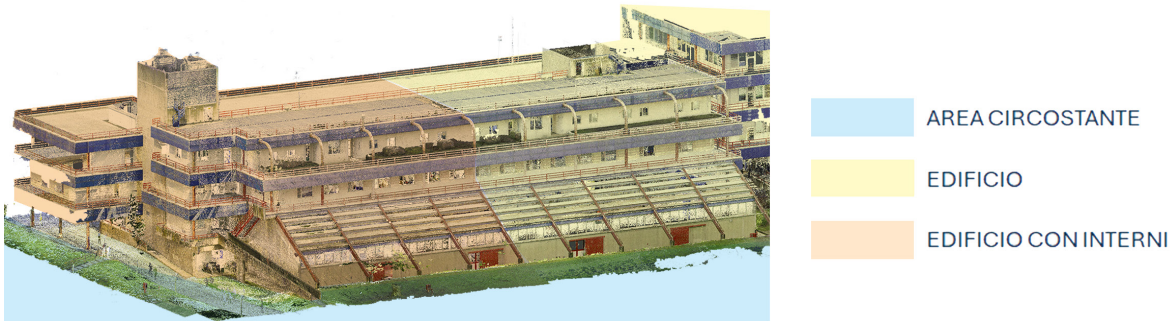


Fig. 21 - Suddivisione della nuvola di punti in regioni distinte. La partizione per aree ha permesso una gestione più efficiente del dato, ottimizzando le prestazioni in fase di importazione e navigazione all'interno del modello HBIM in Revit.

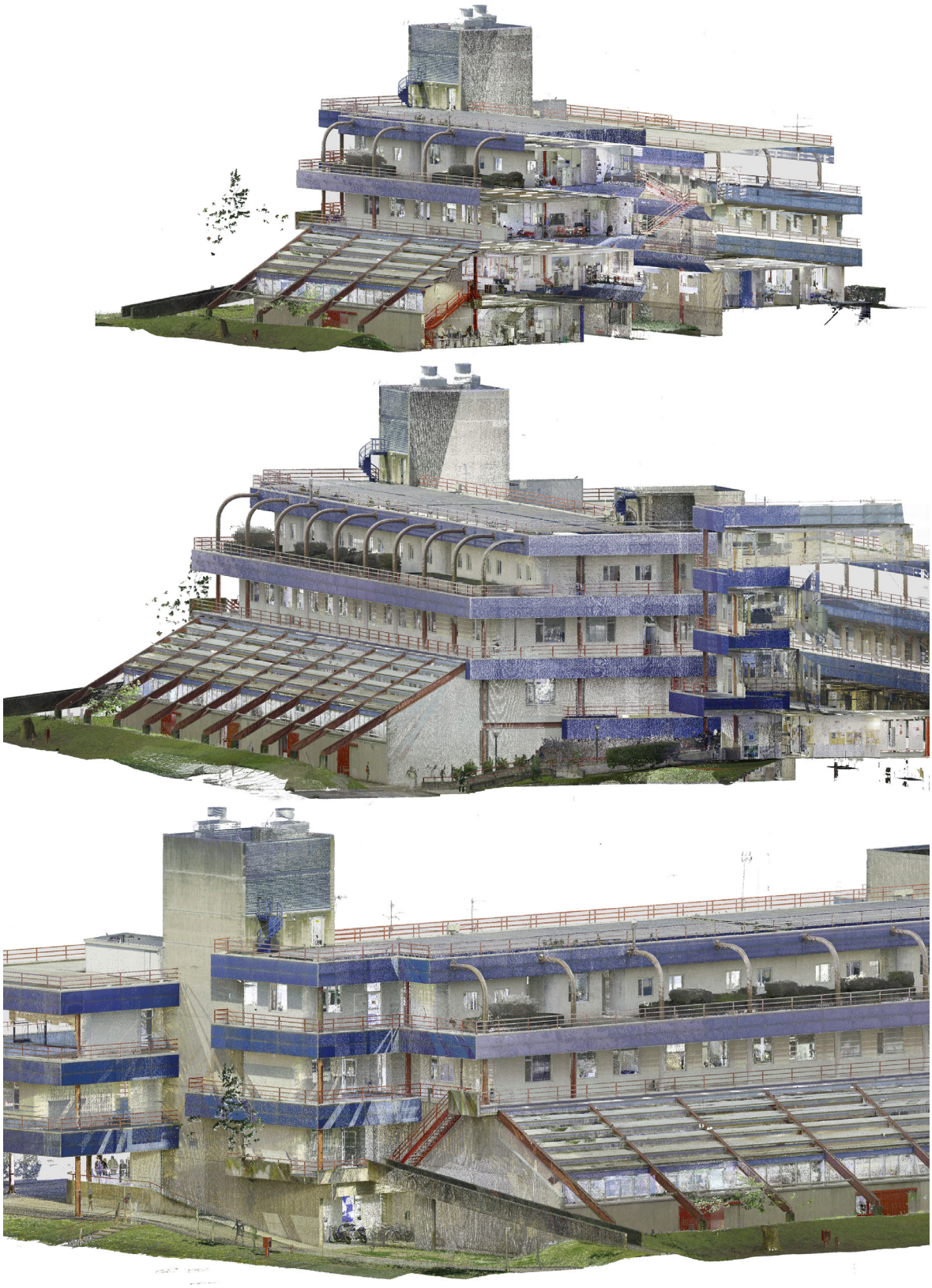


Fig. 22 - Viste della nuvola di punti del Polo Cravino a registrazione completata. Il risultato finale dell'elaborazione in Leica Cyclone Register 360 e Autodesk ReCap restituisce una nuvola densa e continua, pronta per essere importata in Revit come base geometrica per la modellazione HBIM.

4.2 MODELLAZIONE DELLO STATO DI FATTO

4.2.1 STRATEGIE DI MODELLAZIONE SCAN TO BIM

In Autodesk Revit, ogni elemento del modello appartiene a una famiglia, ovvero a una categoria di oggetti parametrici che ne definisce geometria, comportamento e proprietà. Le famiglie si distinguono in tre tipologie principali, ciascuna con caratteristiche e ambiti di applicazione diversi.

Le famiglie di sistema sono componenti predefiniti all'interno del software, non modificabili né importabili da file esterni. Raggruppano tutti gli elementi strutturali e costruttivi principali dell'edificio, come muri, solai, tetti, coperture, scale, ringhiere, controsoffitti, travi. Questi garantiscono coerenza geometrica e parametrizzazione automatica all'interno del modello. Nel caso del modello del Polo Cravino, le famiglie di sistema rappresentano il 41% degli elementi modellati.

Le famiglie caricabili sono invece create in file esterni dedicati con estensione .rfa e importate nel progetto tramite la Libreria delle famiglie. Comprendono tipicamente gli elementi non strutturali e ricorrenti, come porte, finestre, infissi, arredi e, in questo caso, pilastri, creati appositamente per questo progetto. Esse si distinguono dalle famiglie di sistema per la loro elevata flessibilità e personalizzazione. Rappresentano la quota maggioritaria del modello, corrispondendo al 54% degli elementi totali.

Infine, le famiglie locali sono elementi univoci generati direttamente nell'ambiente di progetto tramite il comando "modello locale", associando a ciascuno una categoria appropriata. Sono utilizzate per componenti irripetibili e contestuali, non riproducibili con categorie standard, e costituiscono il restante 5% del modello.

4.2.2 COME SI CREA UNA FAMIGLIA PARAMETRICA

La creazione di una famiglia caricabile personalizzata segue un processo strutturato in più fasi, che è stato applicato sistematicamente per tutti gli elementi ricorrenti del Blocco di Ingegneria.

1. Apertura del template – si avvia un file .rft, scegliendo la categoria adatta all'elemento da modellare. La scelta del template è fondamentale perché determina i piani di lavoro di riferimento e le modalità di inserimento nel progetto.
2. Impostazione dei piani e dei livelli di riferimento – si editano i livelli e i piani di riferimento che definiscono altezze, larghezze e profondità dell'elemento. Questi riferimento saranno poi agganciati ai parametri, permettendo all'oggetto di adattarsi automaticamente a valori diversi.
3. Modellazione della geometria – la forma dell'elemento viene costruita attraverso tre strumenti principali:

- estrusione - per volumi base regolari, ottenuti proiettando un profili planare lungo un asse;
- solido di sottrazione – per creare vuoti e dettagli negativi sottraendo geometria da un solido esistente;
- estrusione su percorso – per forme che seguono un tracciato curvo o complesso, come cornici o profili articolati.

4. Creazione dei parametri – una volta modellata la geometria, si aggiungono le quote dimensionali tra i piani di riferimento, si assegna un'etichetta testuale a ciascuna quota e si crea il corrispondente Parametro di Tipo, che rende quella dimensione modificabile dall'esterno. In questo modo ogni tipo della famiglia può avere valori diversi per gli stessi parametri, senza riscrivere la geometria.
5. Verifica – prima di caricare la famiglia nel progetto, si controlla la coerenza geometrica e parametrica, così da verificare le relazioni tra le parti e individuare eventuali conflitti.

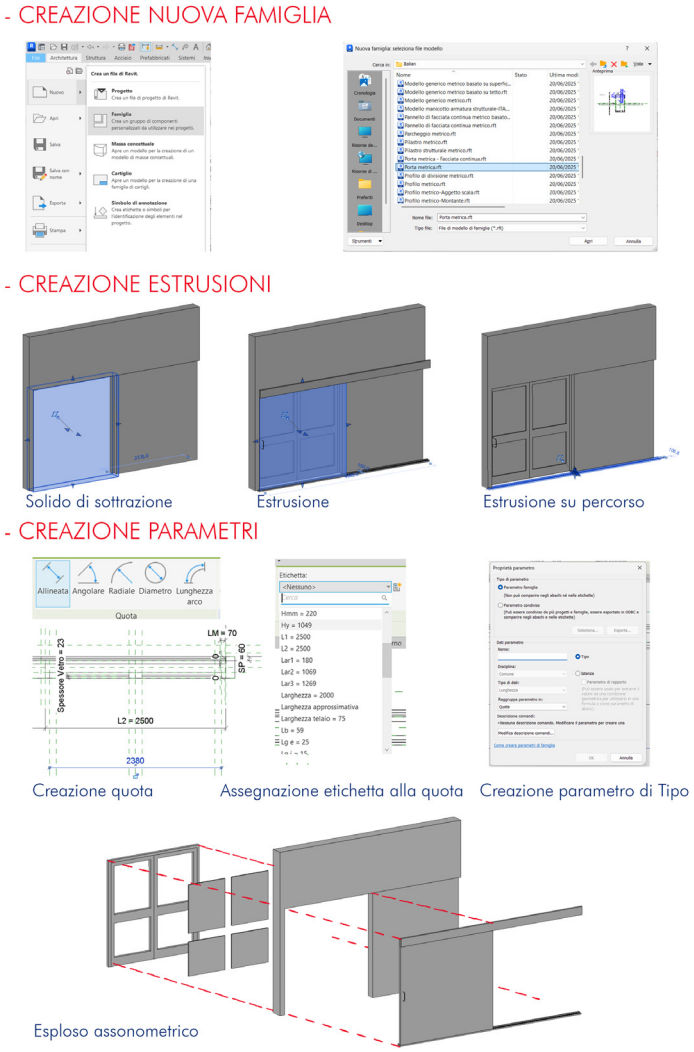


Fig. 23 - Pannello dei comandi di Revit impiegati nella modellazione delle famiglie parametriche. L'interfaccia mostra gli strumenti utilizzati per la definizione della geometria, l'impostazione dei parametri e la gestione delle relazioni dimensionali.

4.2.3 CATALOGAZIONE DEGLI ELEMENTI E LIVELLO DI DETTAGLIO

Prima di avviare la modellazione vera e propria, è stato predisposto un catalogo sistematico di tutti gli elementi da modellare, distinguendo fin dall'inizio tra componenti da trattare come famiglie di sistema e componenti più adatte a famiglie caricabili. Questa fase preliminare ha una funzione di controllo poiché permette di mantenere una visione d'insieme del modello, di definire le priorità di lavoro, di evitare duplicazioni e di garantire coerenza nelle scelte di dettaglio lungo tutto il processo.

Per ogni categoria di elemento sono stati definiti in anticipo il tipo di famiglia da utilizzare, il numero di "tipi" [16] previsti, i parametri necessari e il LOD atteso. Il Livello Di Dettaglio adottato per l'interno modello è il LOD D, secondo la classificazione della norma UNI 11337-4, livello in cui l'oggetto è definito, riconoscibile e verificabile, con geometrie, relazioni e attributi non geometrici coerenti con obiettivi di conservazione e gestione del patrimonio. Questa scelta è stata fatta per produrre un modello sufficientemente informativo, capace di supportare analisi e interrogazioni, evitando un eccesso di dettaglio non deducibile in modo verificabile dal rilievo e dalle fonti d'archivio disponibili.

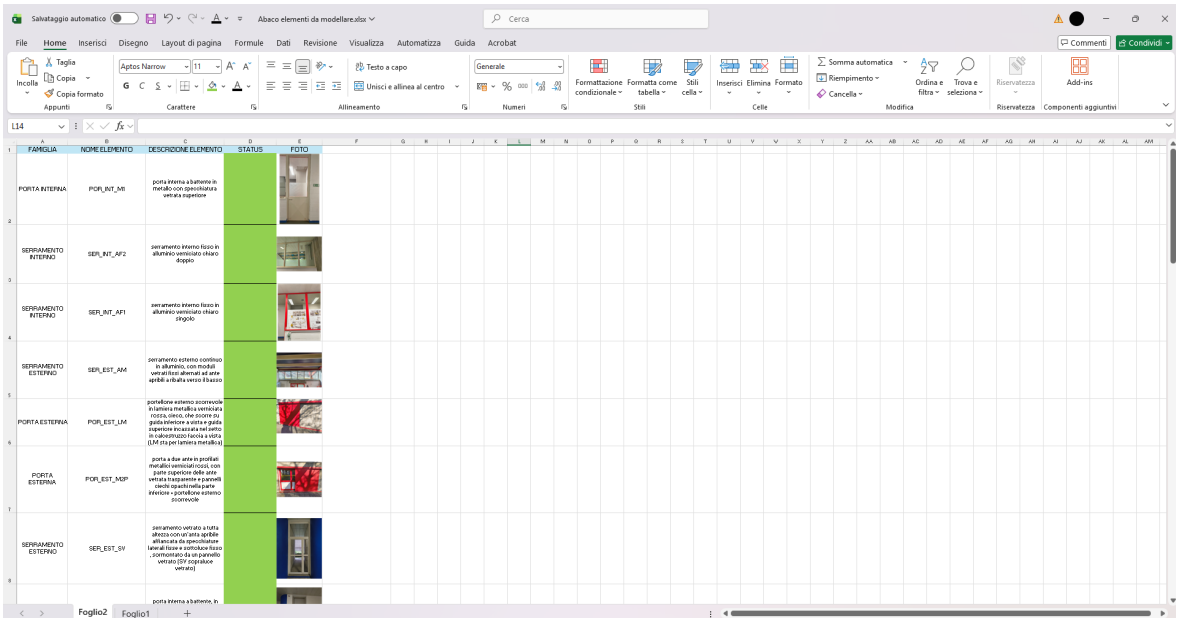


Fig. 24 - Foglio di calcolo Excel utilizzato per la catalogazione degli elementi del modello HBIM.

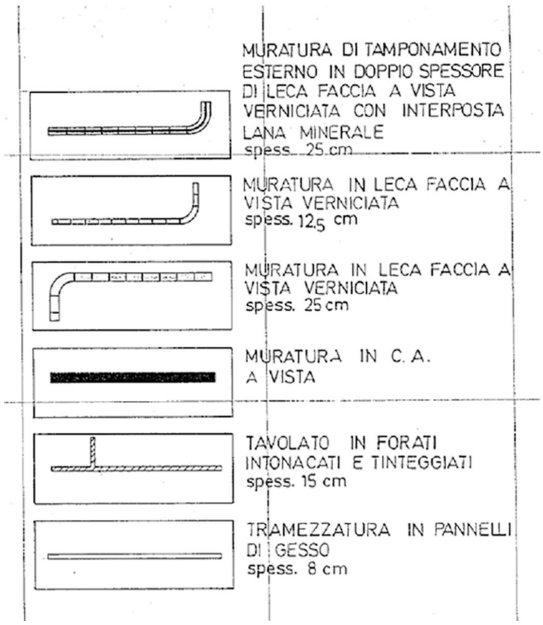
[16] In Revit ogni famiglia può contenere più Tipi, ovvero varianti parametriche dello stesso elemento che condividono la geometria di base ma differiscono nei valori dei parametri (dimensioni, materiali). I Tipi consentono di gestire con un'unica famiglia tutte le varianti dimensionali di uno stesso elemento ricorrente rilevate nell'edificio.

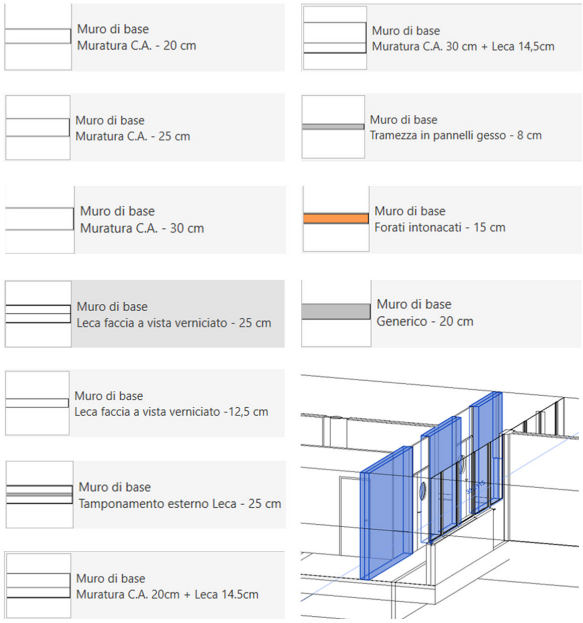
4.2.4 ELENCO DELLE FAMIGLIE REALIZZATE

Di seguito si riportano tutte le famiglie realizzate per il modello del Polo Cravino, suddivise per tipologia.

Famiglie di sistema

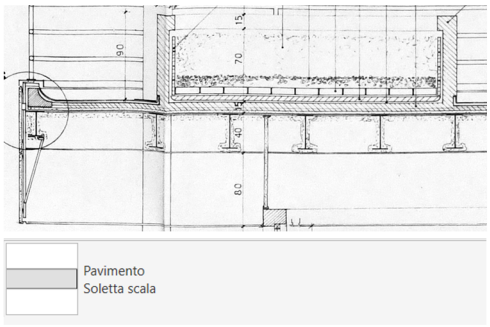
Muri

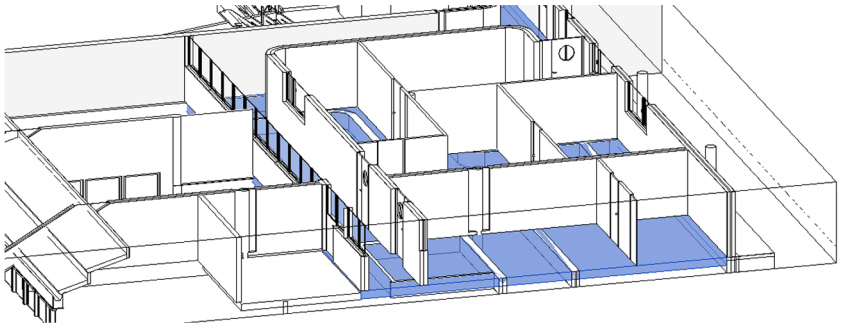




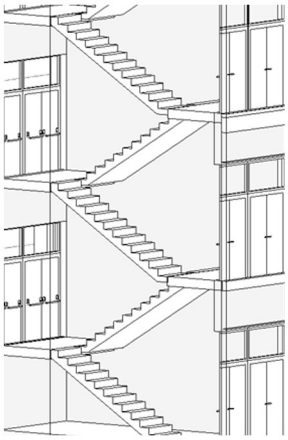
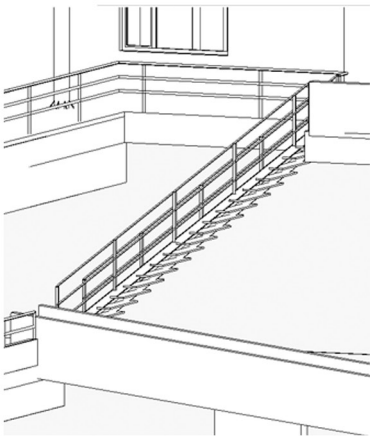
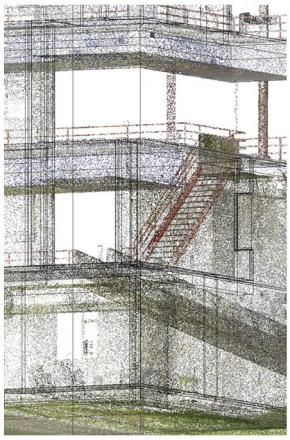
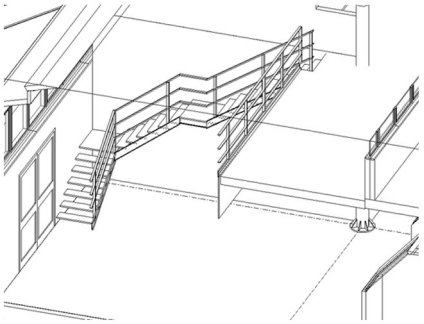
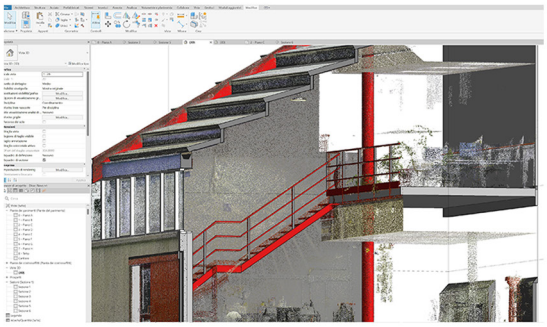
Pavimenti



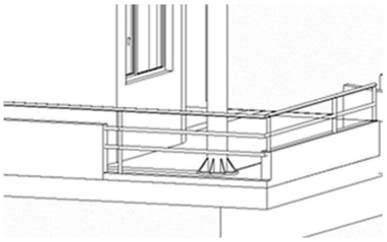
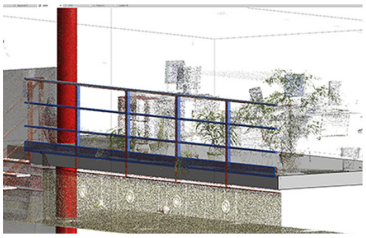
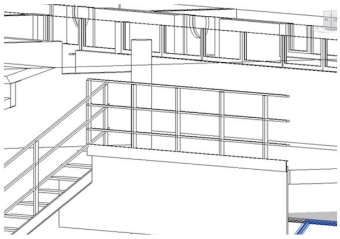




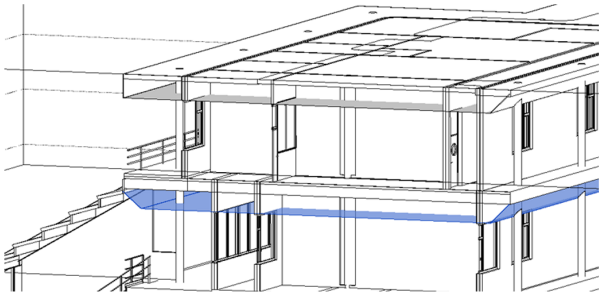
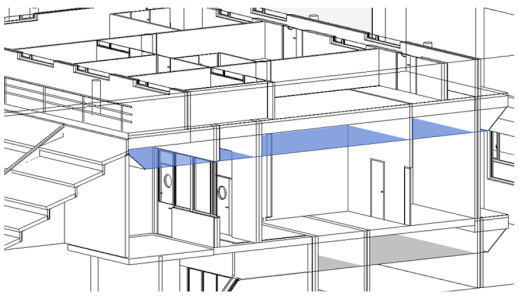
Scale

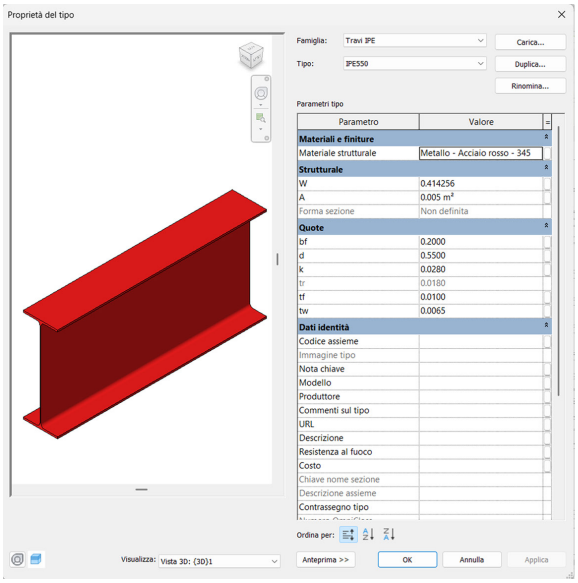
Ringhiere

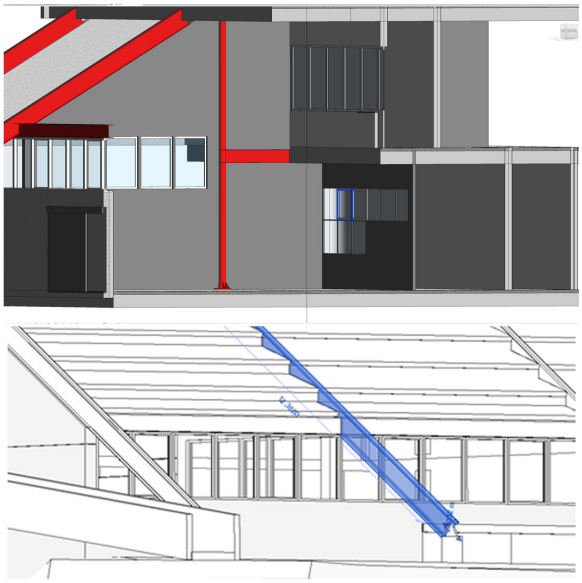




Controsoffitti

Travi

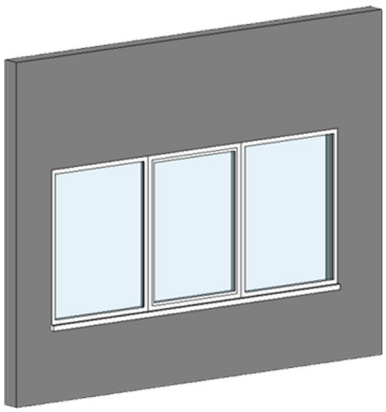


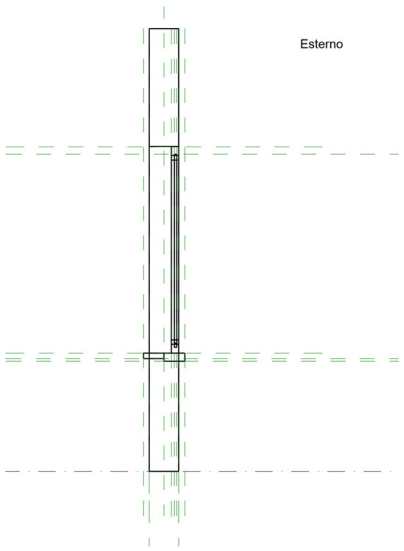


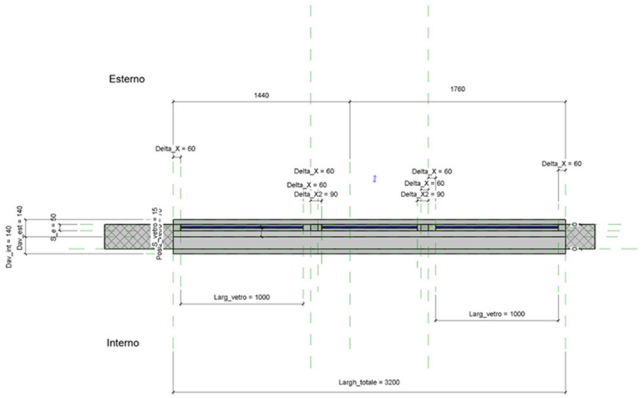
Famiglie caricabili

SER_EST_A



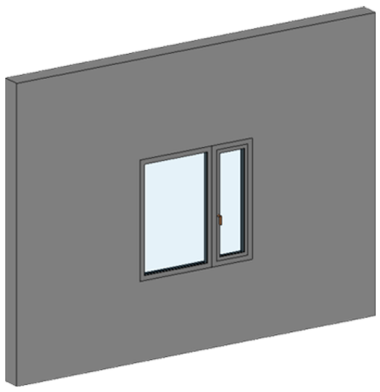


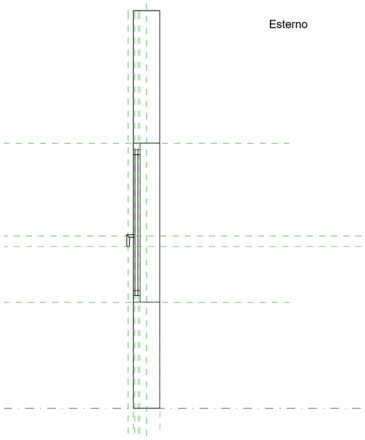


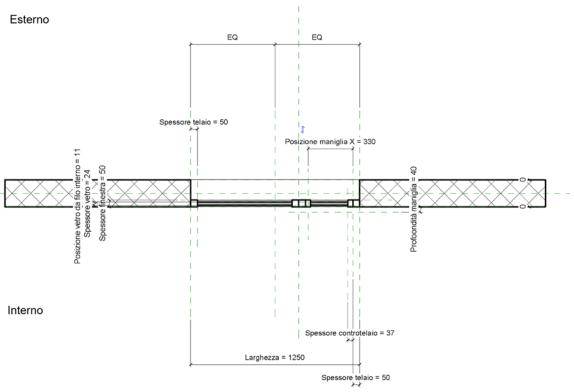


SER_EST_AM



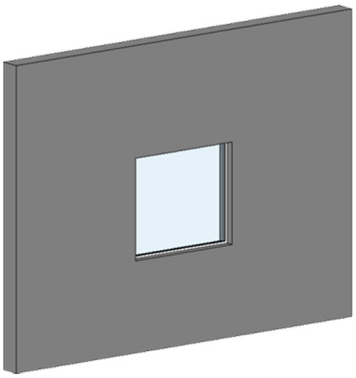


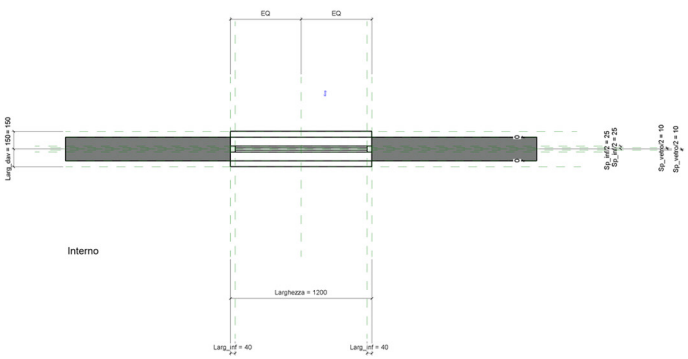


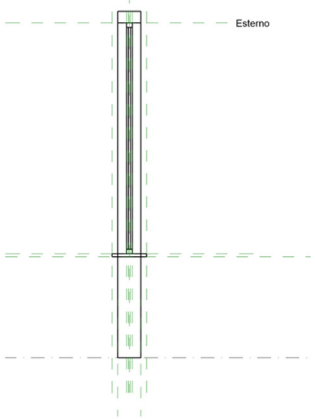


SER_INT_AF1

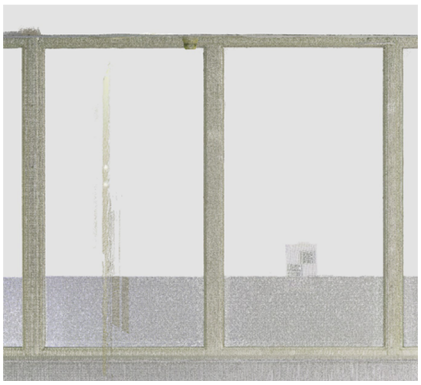


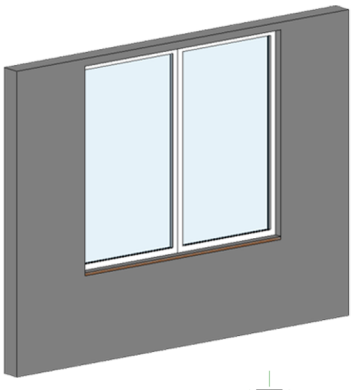


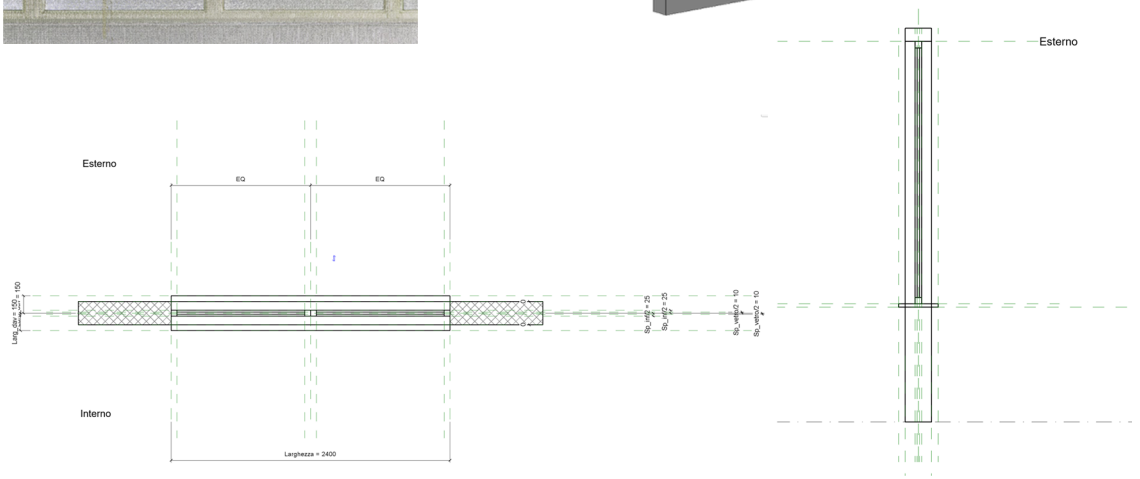




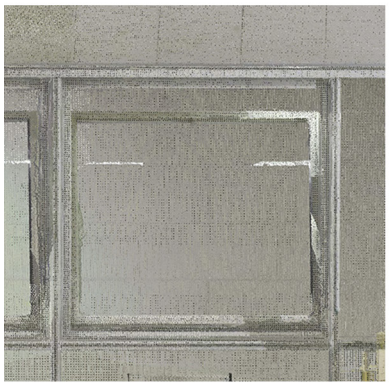
SER_INT_AF2

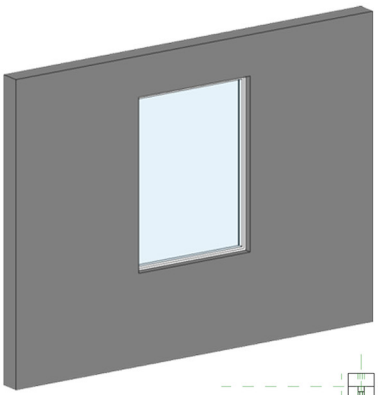


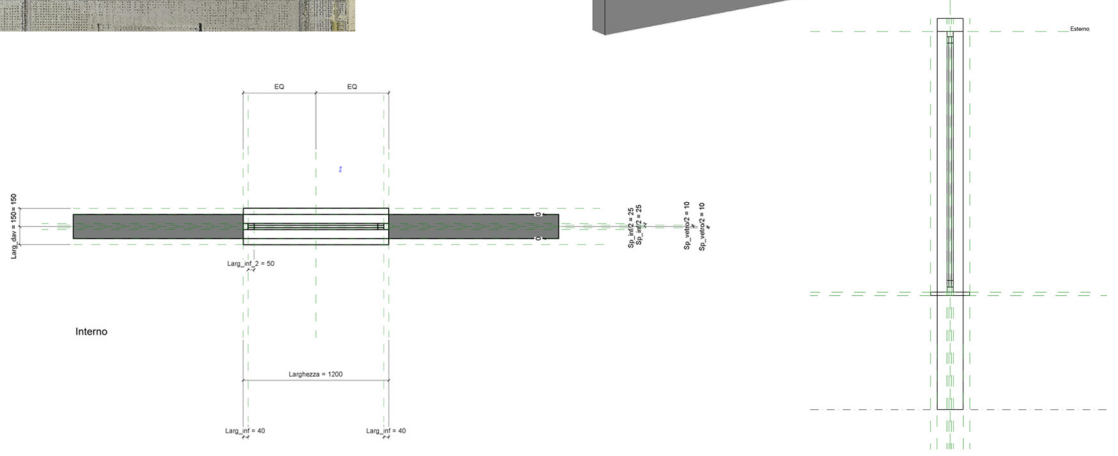




SER_INT_AM1

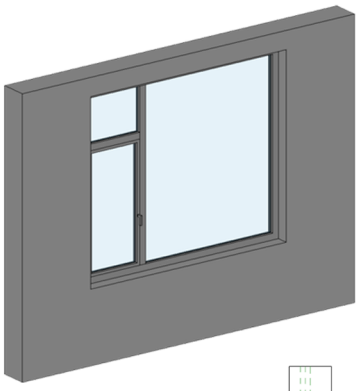


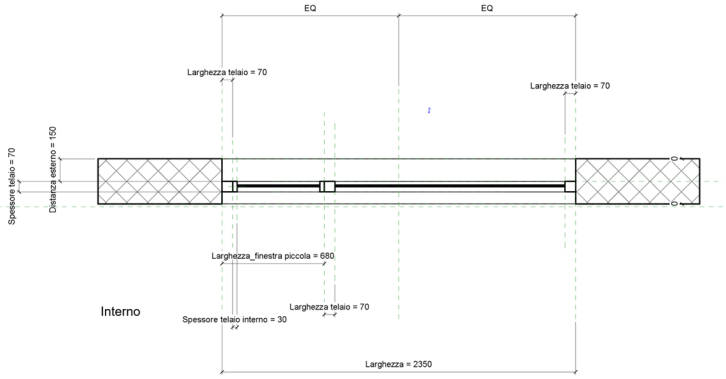


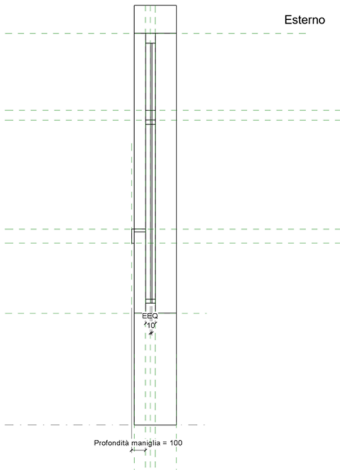


SER_V2



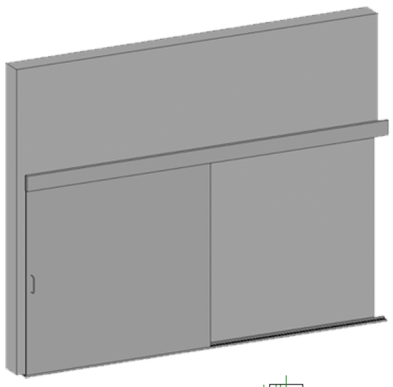


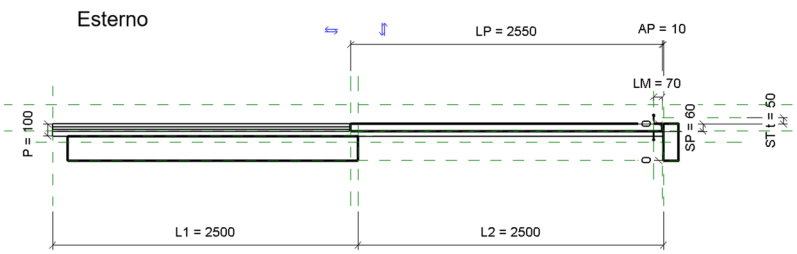


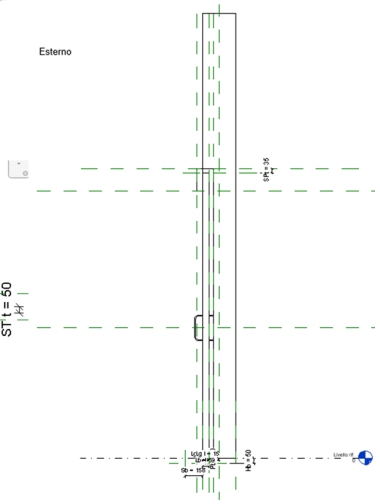


POR_EST



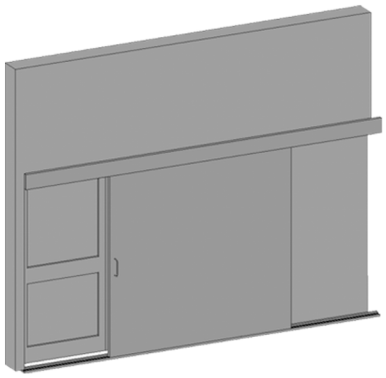


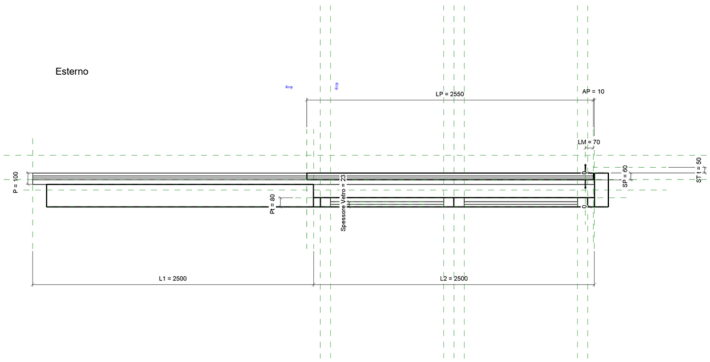


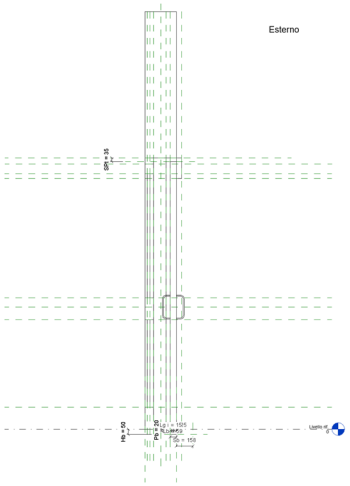


POR_EST_DADA



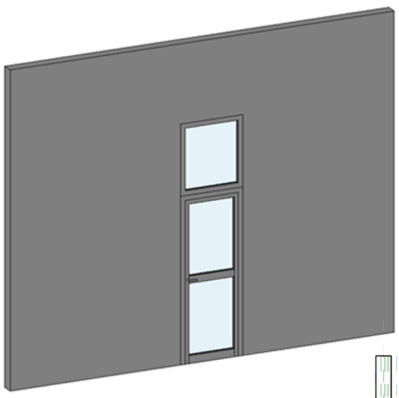


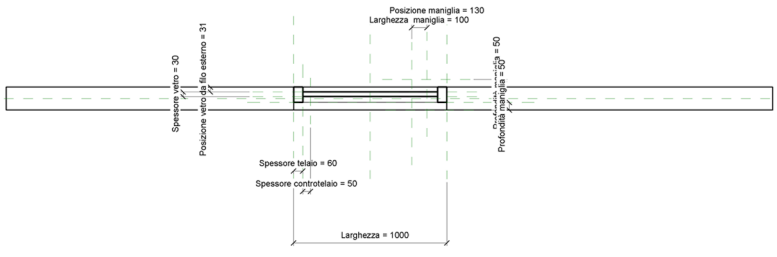


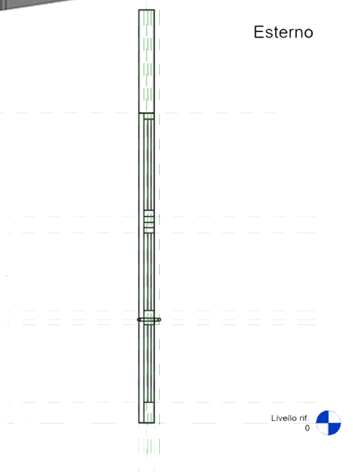


POR_EST_A1



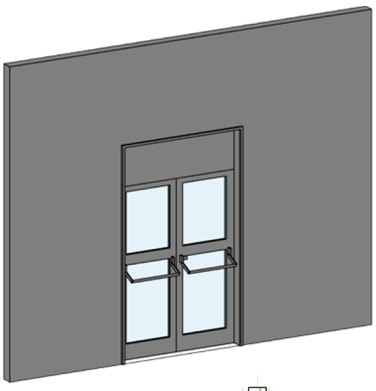


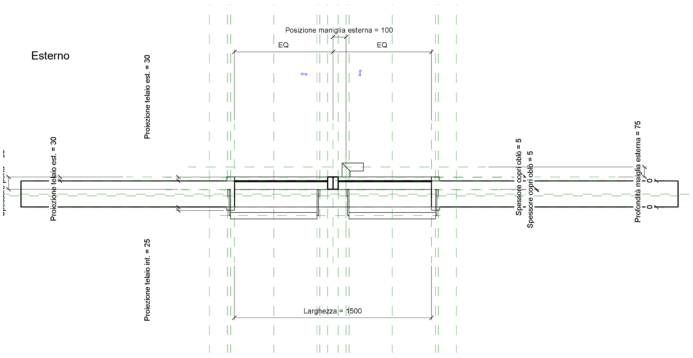


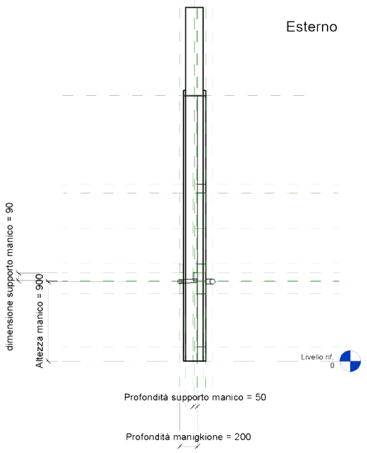


?OR_EST_ANT

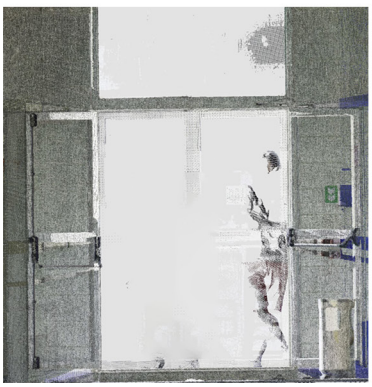


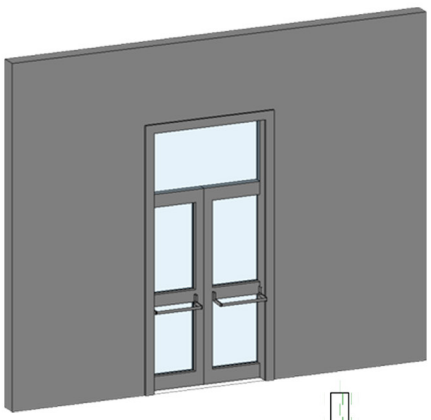


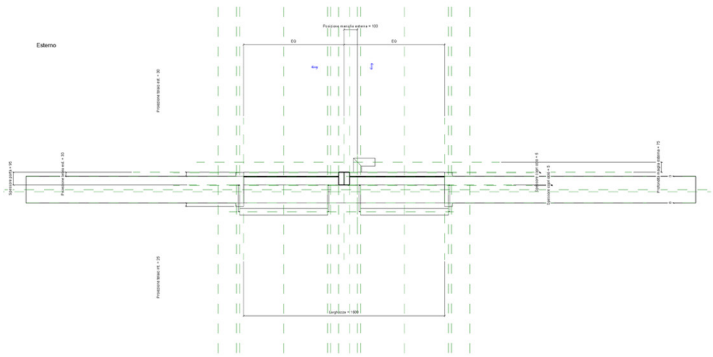


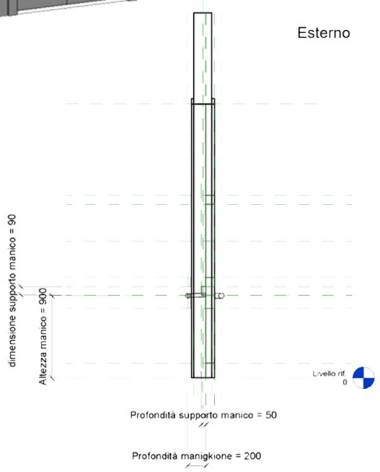


POR_EST_ANT_SV



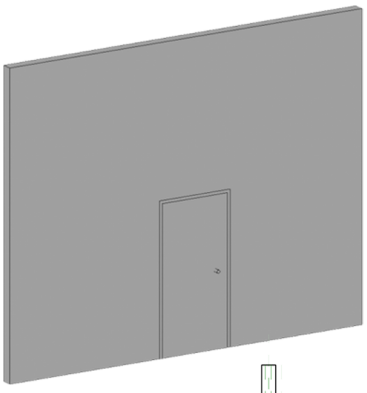


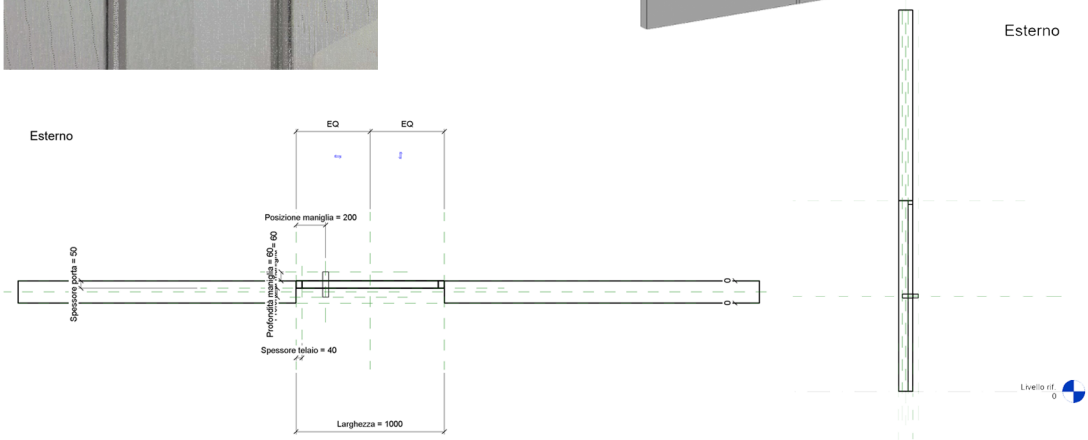




POR_INT_A1

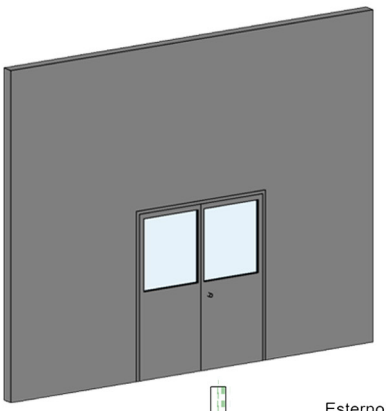


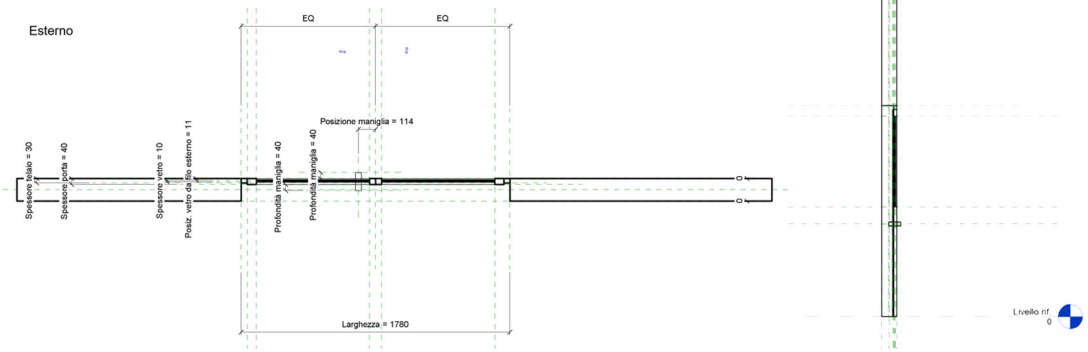




POR_INT_AV

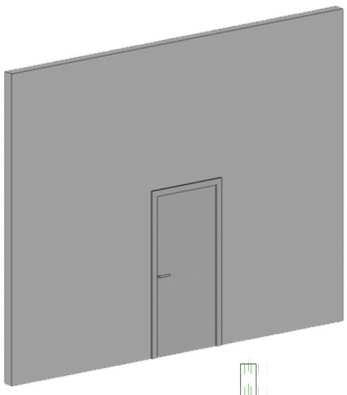


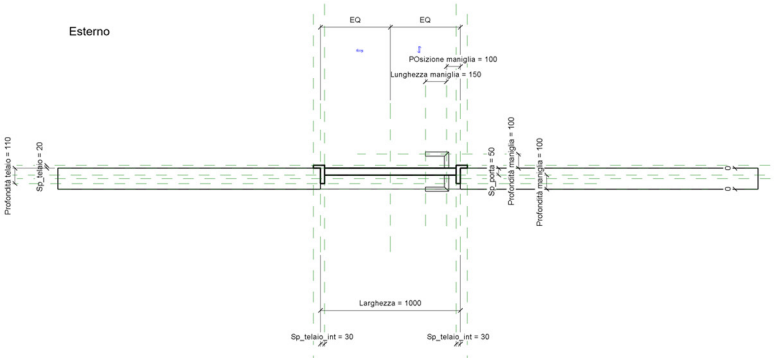


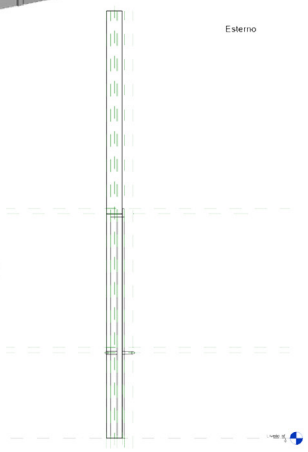


POR_INT_L1E



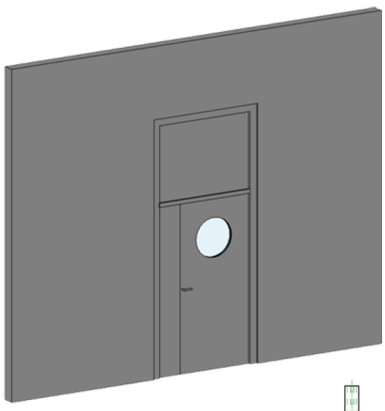


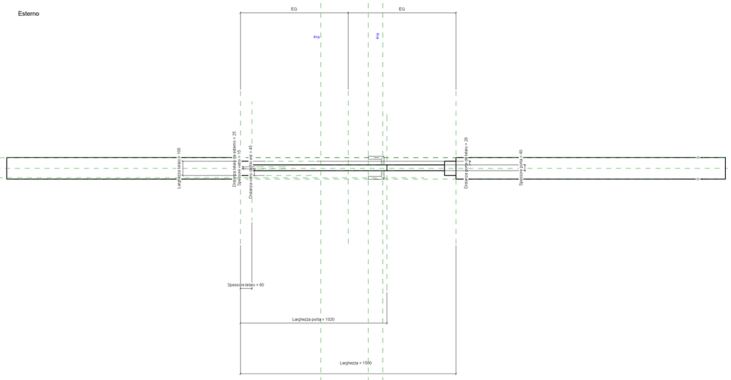


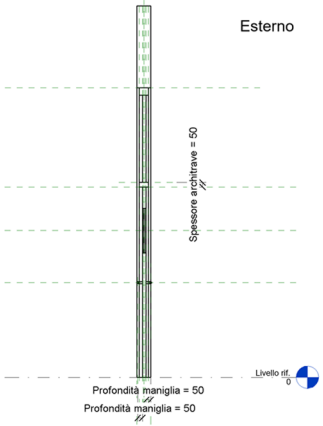


POR_INT_LO



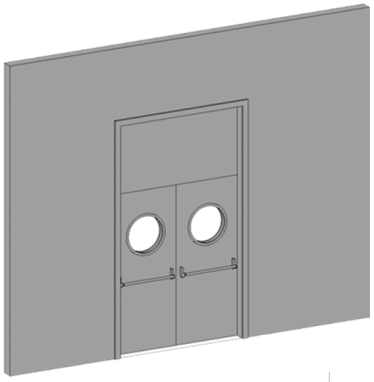


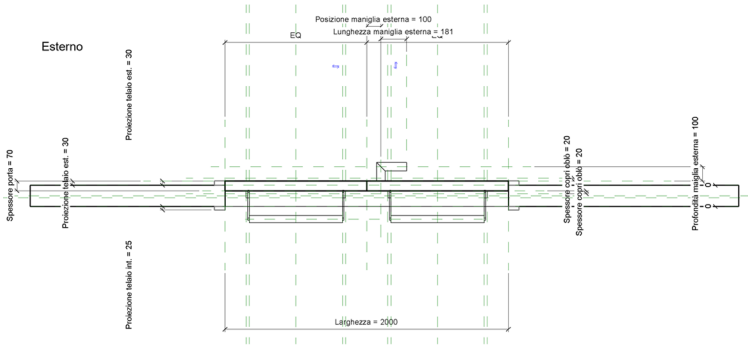


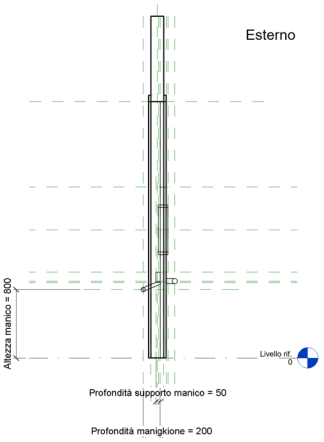


POR_INT_LO2



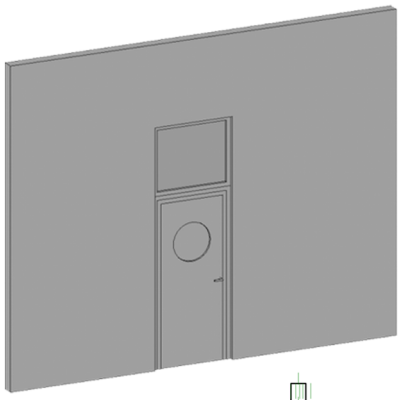


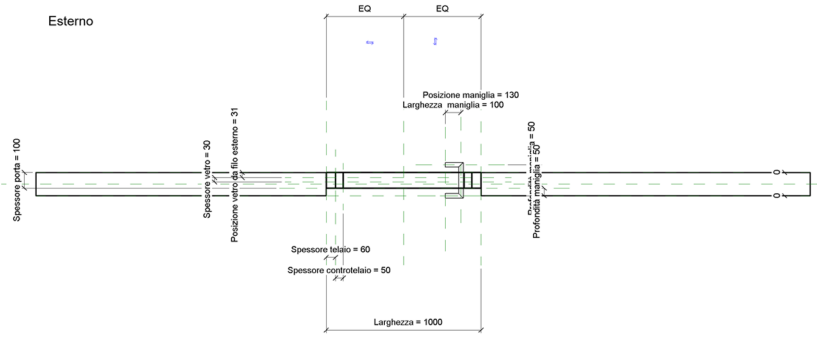


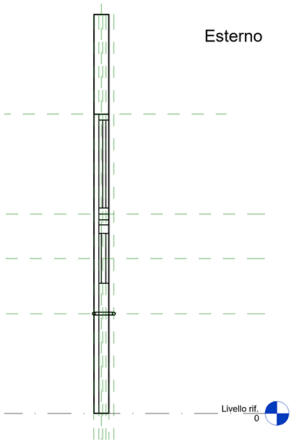


POR_INT_LO3

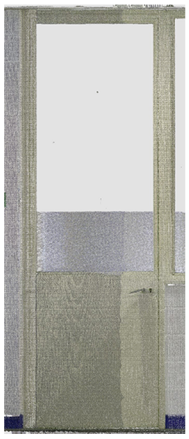


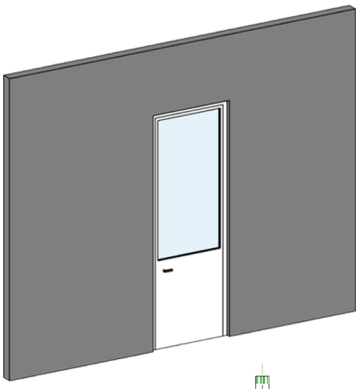


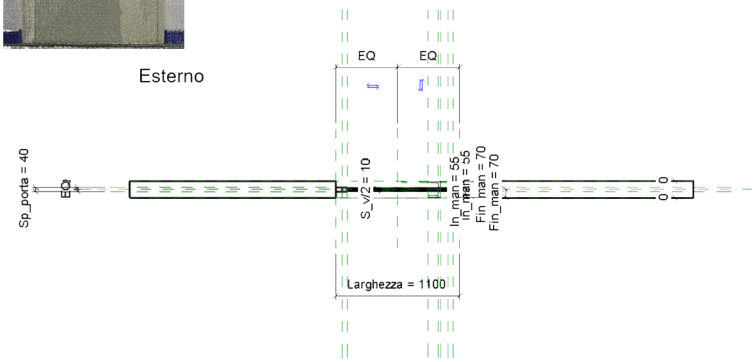


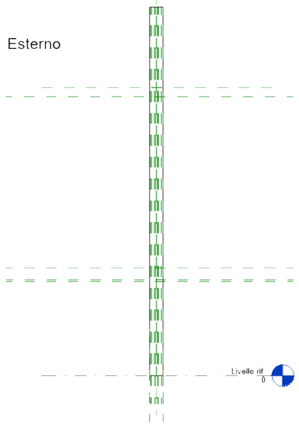


POR_INT_M1

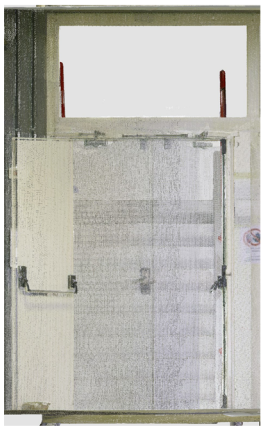


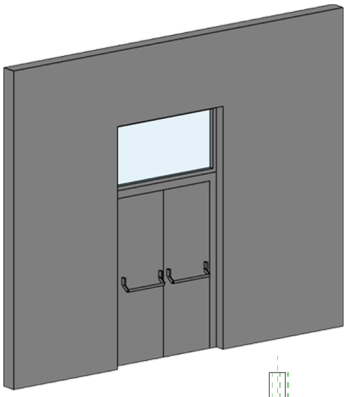


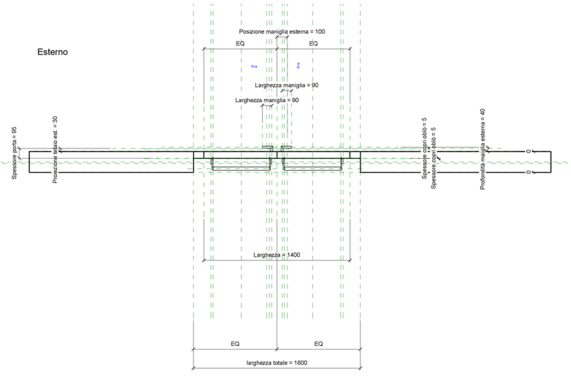


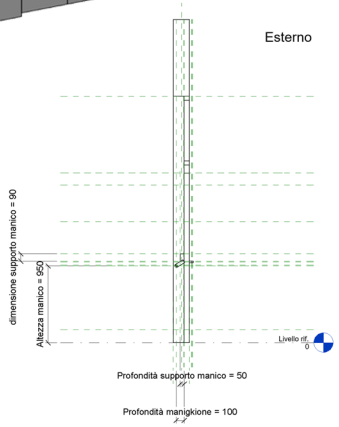


POR_INT_TS

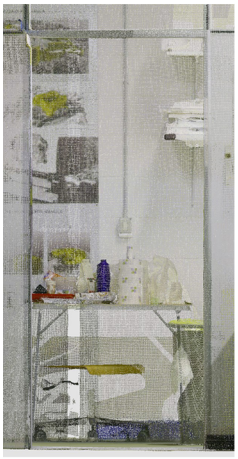


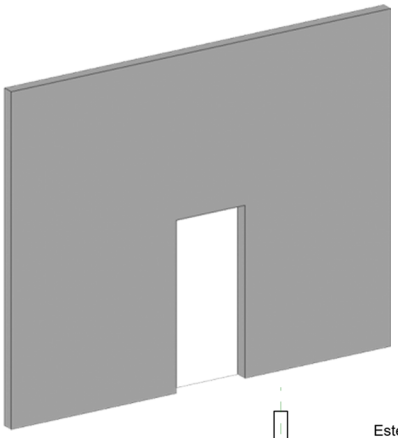


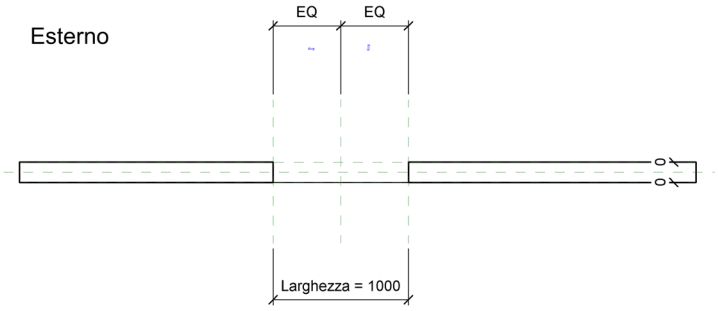


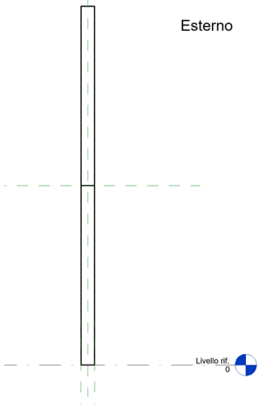


POR_INT_VUOTO



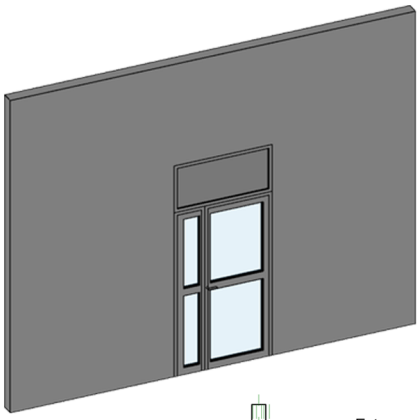


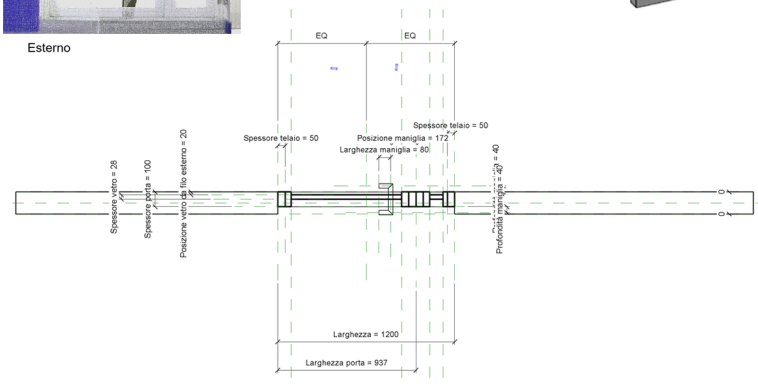


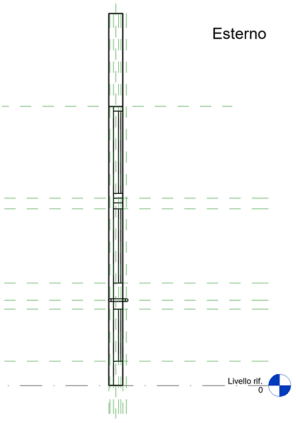


SER_EST_SO

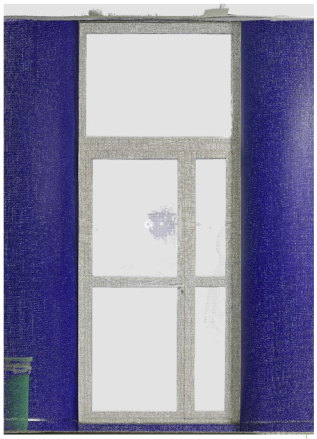


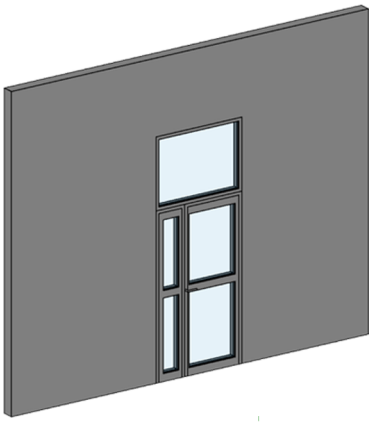


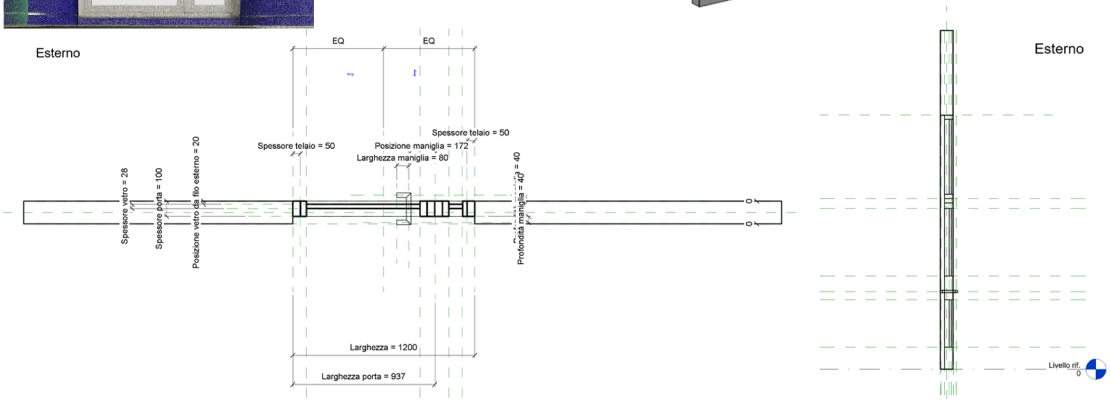




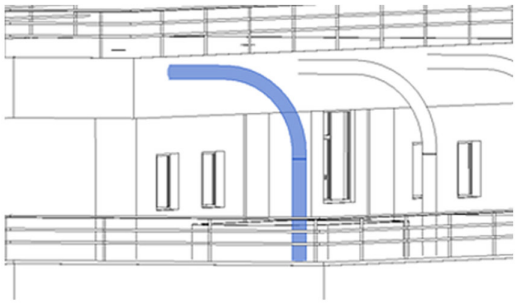
SER_EST_SV



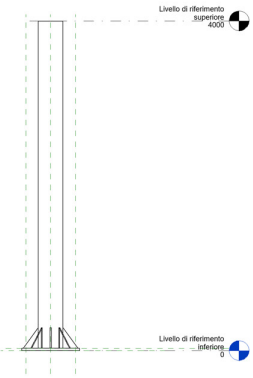


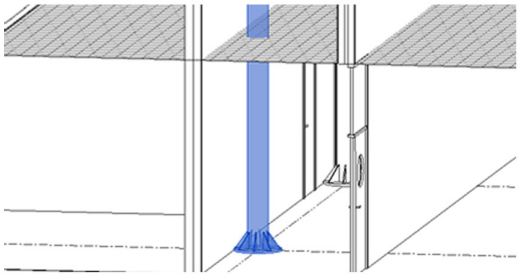


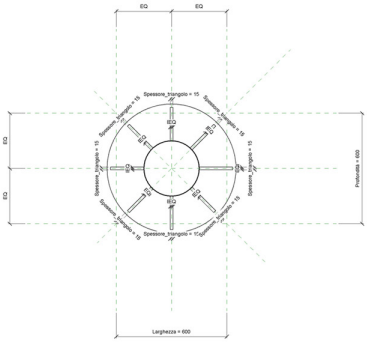
Pilastri



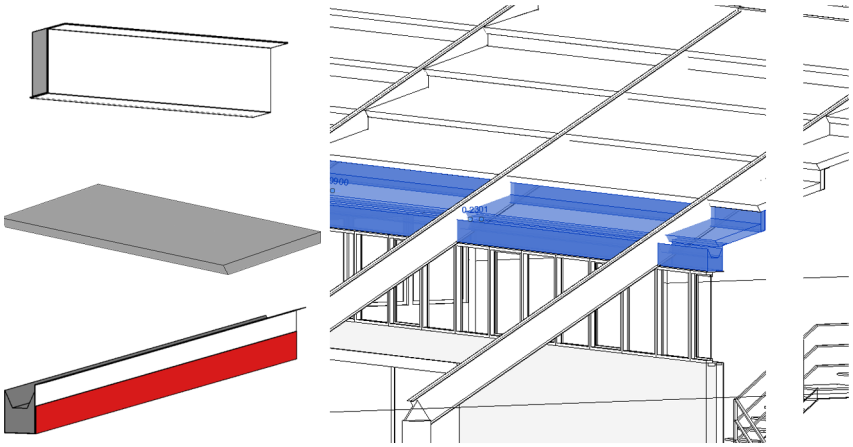








Famiglie caricabili



4.2.5 IMPOSTAZIONE DEL MODELLO CENTRALE

Una volta conclusa la fase di registrazione e pulizia, la nuvola di punti è stata importata in Autodesk Revit nel formato .rcp, il formato prodotto da Autodesk Recap che consente di gestire dataset di grandi dimensioni attraverso regioni attivabili selettivamente.

Il primo passaggio operativo è stata l'impostazione del "nord di progetto". Tramite la rotazione del sistema di riferimento del modello, l'edificio è stato allineato agli assi principali della griglia strutturale, rendendo immediatamente leggibile l'impianto modulare e semplificando tutte le operazioni di modellazione successive.

Dopo l'orientamento, si è proceduto all'analisi diretta della nuvola per individuare le quote dei pavimenti e gli assi dei pilastri portanti. Questi riferimenti, estratti attraverso sezioni e filtri applicati alla nuvola, hanno guidato la costruzione di livelli e griglie strutturali in Revit. Questi elementi fondativi del modello stabilizzano la modellazione su assi che risultano verificabili e riducono il rischio di approssimazioni cumulative. Nel caso del Polo Cravino, la definizione della griglia aveva anche un significato progettuale diretto, ossia rendere esplicita nel modello la stessa matrice ortogonale che De Carlo aveva utilizzato come principio generativo dell'intero complesso.

La nuvola è stata quindi interrogata attraverso viste ortogonali, sezioni e prospetti di controllo, con piano di taglio coerenti con le principali direzioni distributive dell'edificio. Questo approccio ha permesso di trasformare un dato denso e non gerarchizzato in un insieme di riferimenti operativi leggibili, su cui impostare la modellazione degli elementi costruttivi.



Fig. 25 - Viste di Revit che illustrano le fasi iniziali della modellazione HBIM: l'importazione della nuvola di punti come riferimento geometrico e la definizione della griglia strutturale e dei livelli, elementi fondativi su cui si articola l'intera struttura del modello parametrico.

4.2.6 MODELLAZIONE DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI PRINCIPALI

La modellazione degli elementi costruttivi principali, come muri e pavimenti, ha richiesto un lavoro di integrazione tra la nuvola di punti, usata come riferimento metrico dello stato attuale, e i disegni d'archivio, usati come fonte per la ricostruzione delle stratigrafie originali.

Per quanto riguarda i muri, le tavole recuperate presso l'Archivio Storico dell'Università di Pavia e l'Archivio Disegni dei DICAr riportavano in modo dettagliato le stratigrafie di progetto, indicando la successione dei materiali e gli spessori. Queste informazioni sono state riprodotte fedelmente nelle famiglie di sistema in Revit, costruendo la stratigrafia di ogni tipo murario come sequenza di strati con materiale e spessore associati. I dati d'archivio sono stati poi verificati e integrati con misurazioni puntuali sulla nuvola, per rilevare eventuali variazioni tra il progettato e il realizzato.

Per i pavimenti, la procedura è stata analoga. Si è tracciato il contorno di ciascun solaio selezionando i muri realizzati a partire dalla nuvola di punti in pianta, mentre le informazioni sugli spessori e sui materiali sono state integrate con i dati d'archivio. Nei casi in cui la presenza del controsoffitto impediva il rilievo diretto del solaio strutturale, i dati mancanti sono stati completati con misurazioni puntuali effettuate con distanziometro laser in corrispondenza di aperture temporanee degli stessi.

In entrambi i casi la strategia adottata ha evitato di inseguire ogni minima irregolarità geometrica della nuvola, dando invece priorità alla coerenza con gli assi strutturali e con la logica modulare dell'edificio. Questo approccio critico è una delle scelte metodologiche fondamentali di qualsiasi processo Scan-To-BIM applicato al patrimonio in uso.

5. RISULTATI

5.1 ANALISI STORICA E CONFRONTO CRITICO

5.1.1 FONTI E DOCUMENTAZIONE D'ARCHIVIO

La ricostruzione dello stato originario del Blocco di Ingegneria ha richiesto, come prima fase di lavoro, una campagna di ricerca archivistica presso le due principali sedi di conservazione della documentazione tecnica relativa all'edificio, ovvero l'Archivio storico dell'Università di Pavia, distribuito su più sedi nei locali interrati del Palazzo Centrale e dell'Ufficio Tecnico, e l'Archivio Disegni del Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura (DICAr), temporaneamente collocato nel seminterrato della Biblioteca delle Scienze e della Tecnica al Polo Cravino.

L'insieme di documenti recuperati è costituito prevalentemente da tavole di grandi dimensioni, spesso fuori formato, in carta e lucido, databili a partire dagli anni Settanta fino ai giorni nostri. Accanto agli elaborati grafici sono stati reperiti computi metrici, relazioni tecniche e atti di pagamento, che insieme restituiscono una stratificazione documentaria densa e articolata. Tra i materiali più significativi figurano le tavole della prima fase di attuazione del progetto, datate aprile 1981, firmate da Giancarlo De Carlo con la collaborazione dell'architetto Fausto Colombo. Si tratta di piante in scala 1:100, sezioni, prospetti e particolari costruttivi, tra cui lo spaccato assonometrico del lucernario dei laboratori didattici, che costituiscono la fonte primaria per la ricostruzione dell'intento progettuale originale [17]. La consultazione di questo materiale ha permesso di ricostruire la stratigrafia costruttiva dell'edificio, con particolare riferimento alle composizioni di muri e solai riprodotte nel modello BIM, e di tracciare le principali trasformazioni tra il progettato e il realizzato: modifiche alle geometrie dei setti interni, variazioni nelle destinazioni d'uso e interventi manutentivi stratificati nel tempo. Va tuttavia sottolineato che la documentazione risulta per certi aspetti frammentaria e incompleta, poiché non tutti gli interventi successivi alla costruzione originaria sono stati sistematicamente archiviati, e in alcuni casi, la tracciabilità delle modifiche è solo parziale. Questo limite, comune a molte strutture universitarie italiane del secondo dopoguerra, non ha impedito la ricostruzione critica dell'edificio, ma ha reso necessaria una costante integrazione tra le fonti d'archivio e i dati metrici rilevati direttamente sulla nuvola di punti.

[17] I documenti citati sono conservati presso l'Archivio Storico dell'Università di Pavia; la documentazione grafica e i materiali di progetto relativi al Blocco di Ingegneria sono depositati nel locale sottostante l'aula disegno.

5.1.2 CONFRONTO TRA STATO ATTUALE E PROGETTO

Il confronto tra la documentazione d'archivio e il modello Scan-To-BIM ha costituito uno dei passaggi analitici più significativi dell'intera ricerca, permettendo di sovrapporre due "istantanee" dell'edificio distanti oltre quarant'anni, ovvero il progetto di De Carlo nella sua forma più definita, documentato dalle tavole del 1981, e lo stato di fatto rilevato nel 2025 attraverso il rilievo laser scanner.

A livello di impianto strutturale e geometria complessiva, il confronto conferma una sostanziale coerenza con il progetto originale. La griglia modulare ortogonale, il ritmo dei pilastri a sezione circolare, lo sfalsamento di mezzo piano tra i due corpi di fabbrica e la corte interna rettangolare, si conservano intatti, a riprova della solidità della matrice compositiva scelta da De Carlo e della sua capacità di resistere alle trasformazioni nel tempo. L'involucro esterno, con calcestruzzo a vista e le travi in acciaio, risulta anch'esso sostanzialmente invariato nei suoi elementi principali.

Le variazioni più significative emergono invece a livello di distribuzione interna e configurazione degli spazi. Il caso più evidente riguarda il sistema di collegamento verticale tra i livelli sfalsati A e C. Nelle tavole originali De Carlo prevedeva una scala a chiocciola interna a ciascun laboratorio, pensata per favorire lo scambio diretto tra i gruppi di ricerca dei piani contigui. Questo elemento non è stato realizzato. Sono stati inseriti, invece, setti verticali lungo i corridoi, che hanno permesso la creazione di piccole aule e sale riunioni, modificando la logica distributiva immaginata dall'architetto. Analogamente, in diversi laboratori al piano terra, sono stati aggiunti tramezzi in cartongesso, soppalchi con scale interne e controsoffittature che hanno ridefinito le volumetrie interne senza intaccare la struttura portante.

Sul fronte degli impianti e delle finiture, la sovrapposizione tra nuvola di punti e disegni d'archivio ha evidenziato l'accumulo di interventi non sempre integrati con coerenza nel linguaggio formale dell'edificio. In alcuni casi, vani per il condizionamento, aspiratori, circuiti di ventilazione di notevoli dimensioni inseriti in risposta a necessità operative, compromettono la leggibilità del sistema costruttivo originario. Queste aggiunte rappresentano la traccia materiale di un uso intenso e in continua evoluzione, che ha progressivamente allontanato alcuni spazi dall'intenzione progettuale originale pur mantenendone invariata la struttura di fondo.

In confronto ha infine confermato, come già evidenziato in fase di modellazione, che la distanza tra progettato e realizzato non è mai riconducibile a un'unica causa, ma è il risultato stratificato di scelte esecutive di cantiere, adattamenti funzionali successivi e interventi manutentivi che si sono sovrapposti nel tempo. Distinguere tra queste diverse categorie di variazione e attribuire a ciascuna il giusto peso critico è stato uno degli obiettivi dell'analisi comparativa.

5.1.3 INTERPRETAZIONE DELLE TRASFORMAZIONI

Le trasformazioni rilevate nel Blocco di Ingegneria non possono essere lette semplicemente come alterazioni rispetto a un progetto originario puro, ma vanno interpretate alla luce di una prospettiva più ampia, ovvero quella di un edificio pensato fin dall'origine per trasformarsi. De Carlo aveva progettato il Blocco come un sistema aperto, in cui la griglia modulare e le partizioni mobili erano esplicitamente concepite per consentire riconfigurazioni successive senza compromettere l'immagine complessiva dell'edificio. In questo senso, alcune delle trasformazioni rilevate non tradiscono l'idea originaria, ma ne sono piuttosto la naturale conseguenza: la flessibilità immaginata da De Carlo si è effettivamente realizzata, anche se in forme diverse da quelle che l'architetto aveva prefigurato.

È possibile distinguere tre categorie di trasformazione, con implicazioni diverse sul piano critico e conservativo.

La prima categoria comprende le variazioni esecutive di cantiere: piccole difformità dimensionali, adattamenti ai materiali, scelte costruttive che si discostano marginalmente dal progetto ma ne rispettano la logica. Sono trasformazioni inevitabili in qualsiasi processo edilizio e non alterano il valore architettonico dell'opera.

La seconda categoria riguarda le riconfigurazioni funzionali intenzionali, come l'inserimento di tramezzi, soppalchi, nuove partizioni interne o la mancata realizzazione della scala a chiocciola. Queste modifiche rispondono a esigenze d'uso reali, ossia la crescita dei laboratori, l'evoluzione delle tecnologie didattiche e il moltiplicarsi delle attività di ricerca, e sono coerenti con la logica di flessibilità prevista da De Carlo. Tuttavia, alcune di esse hanno progressivamente eroso la leggibilità del sistema spaziale originario, rendendo meno evidente la logica connettiva tra i livelli sfalsati che costituiva uno dei principi fondativi del progetto.

La terza categoria è quella degli interventi impiantistici e manutentivi stratificati, ossia le aggiunte di condizionatori, circuiti di ventilazione, controsoffitti e altri dispositivi tecnici inseriti in risposta a necessità operative. Questi interventi sono quelli che più si discostano dall'intenzione compositiva originaria, non tanto per la loro entità, quanto per la modalità con cui sono stati inseriti, spesso seguendo logiche funzionali piuttosto che estetiche, e per l'effetto che producono sulla percezione degli spazi.

Complessivamente, l'interpretazione delle trasformazioni conferma come il Blocco di Ingegneria si trova oggi in una condizione che potremmo definire di coerenza strutturale e deriva interna. La matrice modulare originaria resiste e rimane leggibile

[18] La distinzione tra categorie di trasformazione sul patrimonio costruito è un approccio consolidato nella letteratura sulla conservazione: cfr. Gasparoli P. & Talamo C., Manutenzione e recupero, Alinea, Firenze, 2006.

nell'impianto complessivo, gli spazi interni, invece, hanno accumulato strati di modifiche che ne rendono sempre più difficile la lettura critica. È proprio in questo scenario che si vuole dimostrare il valore del modello HBIM, non solo come strumento di documentazione, ma anche come dispositivo capace di rendere visibili e governabili queste stratificazioni, supportando scelte future di conservazione e trasformazione consapevoli.

5.2 APPLICAZIONE PROGETTUALE DEL MODELLO HBIM

5.2.1 IL MODELLO COME SUPPORTO ALLE IDEE PROGETTUALI

Gli obiettivi della metodologia Scan-To-BIM non si esauriscono nella documentazione dello stato di fatto, ma si estendono alla possibilità di utilizzare tale modello come strumento attivo di supporto alla progettazione, uno spazio digitale in cui simulare trasformazioni, verificare interferenze e valutare la fattibilità di interventi prima ancora di toccare l'edificio fisico. È in questa direzione che il modello del Blocco di Ingegneria trova una delle sue applicazioni più significative.

Il modello scan-To-BIM realizzato in Autodesk Revit restituisce con precisione non solo la geometria attuale dell'edificio, ma anche le relazioni spaziali tra i livelli sfalsati, i sistemi strutturali, le aperture e i collegamenti verticali. Questa ricchezza di informazioni lo rende un ambiente ideale per ragionare su possibili interventi in modo critico e verificabile, poiché ogni modifica introdotta nel modello risulta immediatamente leggibile in termini di dimensioni, interferenze con la struttura esistente e coerenza con il linguaggio architettonico originario. In un edificio in uso come il Blocco di Ingegneria, dove qualsiasi intervento deve confrontarsi con una struttura complessa e vincolata, questo tipo di verifica preventiva ha un valore pratico diretto.

In questa prospettiva, il modello parametrico si rivela particolarmente adatto a simulare scenari di riuso adattivo degli spazi, ovvero trasformazioni che non alterano la struttura portante ma ridefiniscono la distribuzione interna in risposta a nuove esigenze. La logica parametrica del BIM, che descrive ogni elemento come un sistema di relazioni e varianti controllate piuttosto che come un oggetto fisso, è perfettamente allineata con la logica progettuale di De Carlo. Il Blocco di Ingegneria è un edificio pensato per essere modificato, in cui la flessibilità non è un'eccezione ma un principio fondativo. Il modello diventa così non soltanto la memoria digitale dell'edificio, ma anche il suo strumento di evoluzione controllata.

5.2.2 OBIETTIVI E VINCOLI DELL'INTERVENTO

In linea con i principi di funzionalità e aggiornabilità del modello HBIM fino ad ora discussi, la presente tesi propone una sperimentazione progettuale concreta, che vuole dimostrare come il modello possa supportare attivamente decisioni di trasformazione dello spazio, e non limitarsi alla sola documentazione dello stato di fatto. L'intervento ipotizzato si inserisce nella logica progettuale di De Carlo, che aveva concepito il Blocco di Ingegneria come un sistema aperto e trasformabile. Si tratta di un'aggiunta flessibile e reversibile, pensata per rispondere a nuove esigenze d'uso senza alterare la struttura portante né contraddire il linguaggio compositivo originario. In questa direzione, la proposta si concentra sull'inserimento di un soppalco all'interno del laboratorio AUDe, un intervento che trae fondamento sia nelle potenzialità del modello parametrico, sia nelle stesse intenzioni progettuali dell'architetto.

L'intervento proposto nasce da un'osservazione concreta emersa durante l'analisi dello stato di fatto. Si può notare che al piano C del Blocco di Ingegneria, davanti allo spazio attualmente occupato dal Laboratorio AUDe, è presente una porta predisposta da De Carlo nel progetto originale ma attualmente inutilizzata. Una situazione analoga era già presente davanti agli spazi dei laboratori DadaLab e PLAY, dove attorno al 2019 è stato realizzato un soppalco interno che ha restituito piena funzionalità a quell'accesso, rendendo i laboratori raggiungibili sia dal piano A, livello di ingresso principale, sia dal piano C attraverso la porta sul corridoio superiore.

L'obiettivo dell'intervento proposto è replicare questa logica nel laboratorio AUDe, inserendo un soppalco che consenta lo stesso tipo di doppia accessibilità verticale, sfruttando la porta al piano C già esistente e, ad oggi, priva di funzione. L'intervento non è quindi una forzatura sull'edificio, ma il recupero di una possibilità che De Carlo aveva esplicitamente previsto. Le porte al piano C testimoniano che l'architetto avesse immaginato questo livello come un piano accessibile e connesso. In questo senso, la proposta si configura come un atto di fedeltà all'intenzione progettuale originaria, oltre che come risposta a un'esigenza funzionale reale.

Sul fronte dei vincoli, l'intervento deve confrontarsi con alcune condizioni precise. La struttura portante (pilastri, travi e solai) è inviolabile e costituisce il riferimento geometrico entro cui il soppalco deve necessariamente essere contenuto. La maglia modulare dell'edificio definisce gli ingombri massimi disponibili e orienta le scelte dimensionali. Inoltre, l'intervento deve garantire il rispetto delle normative vigenti in materia di sicurezza, accessibilità e altezze minime dei locali, tenendo conto che si opera in un edificio universitario in uso. Infine, sul piano compositivo, l'inserimento del soppalco deve risultare coerente con il linguaggio architettonico di De Carlo, evitando aggiunte che contraddicano la chiarezza formale dell'edificio originario.

5.2.3 PROPOSTA PROGETTUALE: INSERIMENTO DEL SOPPALCO

La proposta progettuale prende avvio direttamente dal modello HBIM realizzato, utilizzandolo non solo come rappresentazione dello stato di fatto ma come ambiente operativo in cui simulare l'intervento in modo controllato e verificabile. Il punto di partenza è la famiglia parametrica del soppalco già modellata in riferimento a quello presente nei laboratori DadaLab e PLAY, un elemento di cui il modello BIM restituisce geometria, dimensioni, sistema strutturale e relazioni con l'involucro esistente.

Operativamente, la proposta è stata sviluppata modificando i parametri della famiglia esistente, ossia dimensioni in pianta, quota di imposta e configurazione della scala di accesso, adattandola alle caratteristiche specifiche del laboratorio AUDe senza costruire una nuova famiglia da zero. Questa scelta non è soltanto una semplificazione tecnica, ma riflette esattamente la logica parametrica del BIM, dove il modello non descrive oggetti fissi, ma sistemi di relazioni controllate che possono essere aggiornati e riconfigurati in risposta a nuove esigenze. In questo modo è stato possibile verificare in tempo reale le dimensioni disponibili, le eventuali interferenze con la struttura portante e la posizione corretta della scala di accesso rispetto agli ingressi esistenti.

Il soppalco proposto si inserisce nella porzione del laboratorio AUDe individuata nella planimetria del piano C, posizionandosi in modo da sfruttare la porta già presente sul corridoio superiore come accesso diretto dal piano C. Per quanto riguarda il collegamento verticale interno, sono state elaborate due proposte alternative. La prima prevede una scala del medesimo tipo adottato nei laboratori DAdaLab e PLAY, coerente con le scelte già consolidate nell'edificio e in grado di garantire comfort d'uso, ma più ingombrante in pianta. La seconda proposta prevede invece una scala a chiocciola, soluzione più compatta e adatta alla dimensioni del laboratorio AUDe. questa opzione risponde ad un criterio funzionale, ma trova anche un preciso riferimento nei disegni originali di De Carlo del 1981, nei quali erano già previste scale a chiocciola all'interno dei laboratori, conferendo alla scelta una coerenza filologica rispetto all'intenzione progettuale originaria. In entrambi i casi, il collegamento garantisce l'accessibilità anche dal piano A, restituendo al laboratorio quella doppia connessione verticale tra livelli sfalsati che De Carlo aveva previsto come elemento fondante del sistema distributivo del Blocco. Le porte al piano C, a lungo rimaste inutilizzate, tornano così a svolgere la funzione per cui erano state progettate, chiudendo un cerchio tra intenzione originaria e uso contemporaneo.

Dal punto di vista dimensionale, il soppalco è contenuto entro la maglia strutturale esistente, rispettando gli ingombri dei pilastri, mantenendo le altezze minime richieste sia al livello inferiore che a quello del soppalco stesso. Il modello BIM ha permesso di verificare queste condizioni in modo diretto, attraverso sezioni di controllo

e viste tridimensionali che hanno evidenziato fin dalle prime fasi eventuali criticità geometriche, consentendo di affinarle prima ancora di produrre elaborati esecutivi.

5.2.4 INTEGRAZIONE CON L'ESISTENTE E COERENZA COMPOSITIVA

Un intervento di inserimento in un edificio di valore architettonico come il Blocco di Ingegneria non può limitarsi alla verifica della fattibilità tecnica, ma deve confrontarsi con una domanda più ampia: come si relaziona il nuovo con l'esistente? Nel caso del soppalco nel laboratorio AUDe, la questione è affrontata a partire da un riferimento concreto e già collaudato, ossia il soppalco nel laboratorio adiacente, che costituisce non solo il modello geometrico da cui è derivata la proposta, ma anche il precedente compositivo che ne legittima l'inserimento nel contesto dell'edificio.

Sul piano dei materiali e del linguaggio costruttivo, la scelta di replicare la tipologia del soppalco esistente garantisce una coerenza immediata con il carattere dell'edificio. Il sistema strutturale leggero, la scala con pedata a sbalzo e la ringhiera metallica essenziale, si inseriscono in continuità con l'ideologia di De Carlo, il quale privilegiava la chiarezza costruttiva, la visibilità degli elementi strutturali e l'assenza di aggiunte decorative superflue. Il nuovo soppalco non si mimetizza nell'esistente, né si contrappone ad esso, ma si aggiunge con la stessa logica additiva e reversibile con cui De Carlo aveva concepito l'intero sistema di partizioni interne. Si realizza quindi un elemento riconoscibile come contemporaneo, ma pienamente coerente con la grammatica dell'edificio.

Sul piano della reversibilità, l'intervento proposto rispetta un principio fondamentale nella gestione del patrimonio costruito in uso, ossia la possibilità di essere rimosso senza lasciare tracce permanenti sulla struttura portante. Il soppalco è un elemento autonomo, appoggiato alla maglia strutturale esistente senza modificarla, e può essere adattato e smontato in risposta a future esigenze, in linea con quella stessa flessibilità che De Carlo aveva incorporato nel progetto originario come condizione di lunga vita dell'edificio.

Complessivamente, la proposta dimostra come il modello HBIM non sia soltanto uno strumento di conoscenza passiva, ma un dispositivo progettuale attivo, capace di supportare decisioni, verificare compatibilità e simulare trasformazioni in modo trasparente e controllato. In un edificio come il Blocco di Ingegneria del Polo Cravino, in cui ogni intervento di misura con una logica compositiva precisa e con decenni di stratificazioni, questa capacità di governare la complessità con strumenti critici oltre che tecnici, rappresenta il contributo più significativo della metodologia adottata.

6. RISULTATI

6.1 METODO DI COMPARAZIONE TRA FONTI D'ARCHIVIO E MODELLO DIGITALE

La verifica del metodo adottato costituisce un passaggio imprescindibile in una ricerca di carattere sperimentale, per cui non è sufficiente produrre un risultato, ma è necessario dimostrarne l'affidabilità, la ripetibilità e la coerenza rispetto agli obiettivi dichiarati. Nel caso di questo lavoro, il metodo di comparazione si articola su due livelli distinti: la comparazione tra stato attuale e progetto originario, e la simulazione progettuale del modello HBIM.

Per quanto riguarda il confronto tra stato attuale e progetto originario, la verifica è stata condotta attraverso la sovrapposizione sistematica tra gli elaborati d'archivio digitalizzati e le corrispondenti viste ortogonali estratte dal modello Scan-To-BIM. Piante, sezioni e prospetti sono stati messi a confronto piano per piano, identificando le corrispondenze geometriche e le variazioni significative. La validità di questo confronto dipende, in primo luogo, dall'affidabilità del modello BIM come rappresentazione dello stato di fatto. Questa affidabilità è stata garantita dall'errore di registrazione complessivo della nuvola di punti pari a 4 mm sull'intero dataset di 350 scansioni, e dalla strategia di modellazione adottata, che ha privilegiato la coerenza con gli assi strutturali verificabili rispetto all'inseguimento di ogni minima irregolarità. La validazione è stata condotta attraverso controlli incrociati su sezioni trasversali nei nodi principali, confronti su viste tridimensionali e campionamenti sistematici lungo corridoi e vani scala, che risultavano essere le zone più esposte a errori per la ripetitività dell'edificio.

Sul fronte delle fonti d'archivio, la verifica del metodo comparativo ha dovuto tenere conto della frammentarietà della documentazione disponibile. Non tutti gli elaborati originali sono sopravvissuti in modo completo, e in alcuni casi la ricostruzione dello stato di progetto ha richiesto un'interpretazione critica basata su più fonti incrociate, come tavole di progetto, relazioni tecniche, computi e atti di pagamento. Questo limite è stato gestito con trasparenza, per cui ogni confronto è stato condotto soltanto sulle porzioni dell'edificio per cui esisteva documentazione sufficiente e verificabile, evitando di estendere le conclusioni a zone non adeguatamente supportate dalle fonti. La qualità del metodo comparativo risiede quindi non nella pretesa di esaustività, ma nella tracciabilità e verificabilità di ogni scelta interpretativa compiuta lungo il processo.

6.2 IL MODELLO HBIM: ACCURATEZZA GEOMETRICA E SIMULAZIONE PROGETTUALE

La verifica tramite modello HBIM opera su un piano diverso rispetto alla comparazione archivistica poiché non si tratta di confrontare due rappresentazioni dell'edificio nel tempo, ma di valutare il modello stesso come strumento, la sua coerenza interna, la sua affidabilità metrica e la sua capacità di supportare decisioni progettuali concrete.

La prima forma di verifica ha riguardato il rapporto tra nuvola di punti e modello realizzato. Per ciascuna categoria di elementi come muri, solai, pilastri e serramenti, sono stati effettuati controlli sistematici sovrapponendo le geometrie modellate alla nuvola di riferimento, verificando che gli scostamenti rientrassero nelle tolleranze definite a priori e che le anomalie rilevate fossero state correttamente interpretate e gestite. Particolare attenzione è stata dedicata ai nodi costruttivi più complessi, come giunzioni tra muri e solai, raccordi tra corpi di fabbrica sfalsati o connessioni tra elementi strutturali e partizioni interne, dove il rischio di accumulo di errori è più elevato.

La seconda forma di verifica ha riguardato la proposta progettuale del soppalco. Il modello HBIM ha consentito di controllare in modo diretto e immediato le interferenze geometriche tra il nuovo elemento e la struttura esistente, le quote e le altezze libere ai diversi livelli e la posizione della scala rispetto agli accessi esistenti al piano A e alla porta del piano C. Queste verifiche, condotte attraverso sezioni di controllo e viste tridimensionali, hanno permesso di affinare le dimensioni della proposta prima ancora di produrre elaborati esecutivi, dimostrando concretamente il valore del modello come strumento di simulazione preventiva.

Complessivamente, la verifica tramite modello HBIM conferma che il processo adottato, in cui ogni scelta compiuta, nella registrazione della nuvola, nella modellazione degli elementi e nella simulazione dell'intervento, è tracciabile e verificabile da terzi, e il modello può essere aggiornato o esteso in risposta a nuove informazioni o esigenze future, e risulta essere trasparente, governabile e ripetibile. È questa qualità di apertura e aggiornabilità, più ancora che la precisione geometrica, a definire il valore operativo del lavoro svolto.

7. CONCLUSIONI

7.1 POTENZIALITÀ DELLA METODOLOGIA SCAN-TO-BIM

Il lavoro svolto sul Blocco di Ingegneria del Polo Cravino dimostra come la metodologia Scan-To-BIM rappresenti uno strumento di grande potenziale per la gestione e la conservazione del patrimonio edilizio universitario moderno. A partire da un rilievo laser scanner ad alta densità, è stato possibile costruire un modello informativo parametrico che integra in un unico ambiente digitale la geometria accurata dello stato di fatto, le informazioni stratigrafiche ricavate dai disegni d'archivio, e la simulazione di un intervento progettuale, verificandone la fattibilità prima ancora di intervenire fisicamente sull'edificio.

La forza di questo approccio risiede nella sua capacità di integrazione. Il modello HBIM non è un prodotto statico, ma una piattaforma aperta, aggiornabile e interrogabile nel tempo. Alle informazioni geometriche e costruttive già presenti, possono essere progressivamente aggiunti dati impiantistici, informazioni manutentive, risultati di indagini diagnostiche, documentazione fotografica e qualsiasi altro dato utile alla gestione dell'edificio nel suo ciclo di vita. In questa prospettiva, il modello si configura anche come uno strumento di tutela attiva del patrimonio architettonico. Avere a disposizione una rappresentazione digitale metricamente precisa e aggiornabile dell'edificio, corredata dalla ricostruzione della logica progettuale originaria di De Carlo, significa poter valutare ogni futuro intervento in relazione a quella logica, verificando preventivamente se una trasformazione è coerente con la grammatica compositiva dell'edificio o se rischia invece di tradirla.

In questo senso, il modello realizzato non rappresenta un punto di arrivo, ma una base operativa da cui sviluppare analisi sempre più approfondite e interventi sempre più consapevoli, dalla manutenzione ordinaria, alla gestione di trasformazioni complesse, fino a scenari di riuso adattivo come quello proposto in questo lavoro.

Il caso del Blocco di Ingegneria ha inoltre dimostrato come la logica parametrica del BIM sia naturalmente allineata con la logica progettuale di De Carlo. Questo edificio, pensato per essere flessibile e trasformabile, trova nel modello parametrico uno strumento coerente di rappresentazione e gestione, in cui la regola costruttiva originaria può essere preservata, letta e trasmessa nel tempo.

7.2 LIMITI E CRITICITÀ

Accanto alle potenzialità, il lavoro ha messo in luce alcune criticità concrete che è necessario riconoscere per valutare correttamente la trasferibilità del metodo.

La prima riguarda la complessità e la durata del processo. L'intero workflow, dalla campagna di rilievo alla registrazione della nuvola, dalla pulizia del dato alla modellazione parametrica, ha richiesto un investimento di tempo e risorse significativo, reso possibile dall'utilizzo di strumentazione adeguata e di workstation performanti. La gestione di un database di 350 scansioni, con un peso computazionale elevato, diventa molto difficoltosa su hardware meno potenti. La segmentazione della nuvola in regioni attivabili selettivamente ha mitigato il problema, ma eliminato del tutto. Questo aspetto è determinante quando si ragiona sulla scalabilità del metodo all'intero complesso del Polo Cravino. Tecnicamente è fattibile, ma richiede una dotazione di hardware e software adeguata e una pianificazione attenta delle risorse disponibili.

La seconda criticità riguarda la diffusione delle competenze. Un modello HBIM esprime il suo pieno potenziale soltanto nel momento in cui tutte le figure coinvolte nella gestione dell'edificio, ovvero tecnici, responsabili della manutenzione, progettisti e amministrazione universitaria, sono in grado di interrogarlo e aggiornarlo. Finché l'utilizzo del modello rimane appannaggio di pochi specialisti, il suo valore operativo resta parziale. La diffusione della cultura BIM tra tutti gli attori coinvolti nella filiera è quindi una condizione necessaria perché questo tipo di modello diventi un reale strumento di gestione quotidiana, e non soltanto un prodotto di ricerca.

7.3 PROSPETTIVE DI SVILUPPO

Il modello realizzato apre diverse direzioni di sviluppo futuro, alcune di carattere tecnico e altre di carattere strategico.

Sul piano tecnico, il passo più immediato è l'estensione sistematica della modellazione all'intero Polo Cravino, mantenendo coerenza nei criteri, nei livelli informativi e nelle famiglie parametriche già sviluppate per il Blocco di Ingegneria. A questo si affianca la possibilità di arricchire il modello con ulteriori strati informativi, come rilievi impiantistici dedicati, documentazione tecnico-manutentiva aggiornata o integrazione dei sistemi MEP, così da evolvere progressivamente da un modello prevalentemente architettonico, a un modello informativo integrato capace di supportare la gestione completa dell'edificio nel suo ciclo di vita.

Sul piano della tutela e della conservazione, uno degli obiettivi più significativi a cui questo lavoro vuole contribuire è garantire che i futuri interventi sul Blocco di Ingegneria, e più in generale sul Polo Cravino, vengano realizzati in coerenza con la logica progettuale originaria di De Carlo. Il rischio concreto, emerso chiaramente

dall'analisi delle trasformazioni già avvenute, è che interventi successivi non adeguatamente documentati e verificati finiscano per allontanarsi progressivamente dall'idea di flessibilità e chiarezza compositiva che è alla base dell'edificio, producendo stratificazioni incoerenti difficili da governare nel tempo. Il modello HBIM vuole essere uno strumento di presidio rispetto a questo rischio. Si tratta di un riferimento condiviso e verificabile a cui ancorare le scelte progettuali future, così da tutelare un patrimonio architettonico che, pur non avendo ancora il riconoscimento formale di molti edifici storici, esprime un valore culturale e identitario meritevole di protezione.

Sul piano strategico, il lavoro svolto contribuisce a posizionare il patrimonio edilizio universitario del secondo dopoguerra come una categoria meritevole di attenzione critica e strumenti dedicati, al pari del patrimonio storico stratificato dei centri urbani. Il Blocco di Ingegneria di De Carlo non è soltanto un edificio da conservare, ma un'opera da comprendere, trasmettere e rendere operativa per le generazioni future. In questo senso, il modello HBIM non restituisce soltanto una misura dell'edificio, ma ambisce a rendere leggibile e trasmissibile la logica progettuale, come patrimonio pubblico in continua trasformazione da governare con strumenti critici oltre che tecnici.

8. BIBLIOGRAFIA

Visone, M., La storia dell'architettura per la documentazione e la conservazione del patrimonio costruito moderno e contemporaneo, in Atti del convegno MAXXI, Fondazione Scuola del Patrimonio, Roma, 2022.

Turri, F., La "nave" di Giancarlo De Carlo e il piano di sviluppo dell'Università di Pavia al Cravino, in Cantoni V. e Ferraresi A. (a cura di), Ingegneri a Pavia tra formazione e professione, Cisalpino Istituto Editoriale Universitario, Monduzzi Editore, Milano, 2007, pp. 577-594

Delsante, I. (2007). Giancarlo De Carlo e la Facoltà di ingegneria di Pavia . Maggioli Editore.

Norma UNI 11337 - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni.

D.Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, Codice dei beni culturali e del paesaggio, art. 1: "La tutela e la valorizzazione del patrimonio culturale concorrono a preservare la memoria della comunità nazionale e del suo territorio e a promuovere lo sviluppo della cultura."

Visone, M., Conoscenza e tutela del patrimonio architettonico moderno e contemporaneo: esperienze a confronto, in Atti del convegno MAXXI, Fondazione Scuola del Patrimonio, Roma, 2022

Zhao, L., Zhang, H., Wang, H., Wang, Y., & Li, T. (2025). A digital-twin evaluation framework of zero carbon buildings for existing residential buildings based on scan-to-BIM. Alexandria Engineering Journal, 124, 204-213

Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36, “Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici”

UNI EN 17543:2021 - “Conservazione del patrimonio culturale – Finiture per il patrimonio costruito – Indagini e documentazione”

Rodriguez Polania, D., & Osello, A. Developing a Digital Twin for Tunnel Lining in Mechanized Tunneling Construction. Available at SSRN 4968828.; Di Filippo, A. (2023). Transition to Parametric Modelling in Heritage Documentation. DISÉGNO-OPEN ACCESS, 6, 2685-2691.

Galasso, F., Ricciarini, M., Bertocci, S. (2025). Managing open H-BIM models for data interoperability. 3D MODELING & BIM, 69–80.

Turri, F. (2020). Sui due volumi dell'Almum Studium Papiense. Storia dell'Università di Pavia. 3. Il Ventesimo secolo (a cura di D. Mantovani). «Ieri bella campagna, oggi Università: il Campus Cravino», pp. 745–770. Cisalpino, Milano.

Cattaneo, A., Baratin, L., Gasparetto, F. (2020). L'Università di Urbino e gli interventi di Giancarlo De Carlo: un rapporto tra edifici storici e nuovi campus universitari con particolare attenzione alle sfide future. In: Costruire le Università. Aspetti architettonici e urbanistici, tra ragioni economiche e scelte politiche, pp. 119–138. il Mulino

De Carlo G., Architettura città università. Disegni, Alinea, Firenze, 1982.

Dell'Amico, A., Sanseverino, A., & Albertario, S. (2023). Point cloud data semantization for parametric scan-to-HBIM modeling procedures. In Beyond Digital Representation: Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design (pp. 515-533). Cham: Springer Nature Switzerland

Morandotti, M., Parrinello, S., Picchio, F., De Marco, R., Becherini, P., Dell'Amico, A., ... & Malusardi, C. (2019). L'Università di Pavia. I cortili e gli ambienti monumentali. Un progetto di documentazione digitale e sviluppo di sistemi di gestione per la manutenzione programmata. VII Convegno Internazionale ReUSO Matera-Patrimonio in divenire, A. Conte and A. Guida, Eds., Rome (Italy): Gangemi Editore, 863-874.

Gasparoli, P., & Talamo, C. (2006). Manutenzione e recupero. Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito. Alinea Editrice.

IL PROGETTO DI GIANCARLO DE CARLO

INQUADRAMENTO

Pavia è situata nel sud-ovest della Lombardia, lungo il fiume Ticino e in prossimità della confluenza con il Po, in una posizione strategica tra Milano e la pianura circostante. La città presenta un impianto storico compatto, a cui si affiancano espansioni più recenti sviluppate lungo le principali direttrici di accesso. Questa configurazione rende evidente la continuità tra tessuto edilizio, spazi pubblici e reti di mobilità, con un forte rapporto tra centro storico e servizi urbani. In tale quadro, la presenza universitaria costituisce un elemento identitario e funzionale, incidendo sui flussi quotidiani e sull'organizzazione delle attività culturali e di ricerca.

La mappa rappresenta Pavia con l'indicazione delle sedi dell'Università, evidenziando una distribuzione articolata in più poli anziché concentrata in un unico campus. Tale assetto riflette la crescita storica dell'Ateneo e l'uso sia di edifici integrati nel tessuto del centro sia di complessi più recenti in aree di espansione. La lettura cartografica consente di interpretare il sistema universitario come una rete di luoghi con funzioni differenti , connessi dai percorsi urbani e dai collegamenti principali. In questo modo risulta più chiaro il posizionamento dell'edificio oggetto di studio rispetto all'insieme, in termini di accessibilità e relazioni con le altre sedi.

1. Orto botanico dell'Università di Pavia
2. Palazzo San Tommaso - Università di Pavia
3. Palazzo centrale dell'Università di Pavia
4. Palazzo San Felice - Università di Pavia
5. Unità di fisiologia umana - Università di Pavia
6. Dipartimento di scienze del farmaco
7. Dipartimento di fisica - Università di Pavia
8. Learning space Cravino
9. Polo scientifico Cravino - Università di Pavia
10. Museo della Tecnica Elettrica

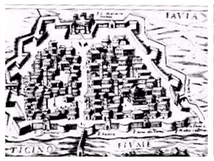






CENNI STORICI





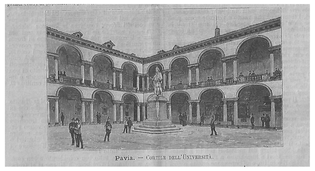




825

Le origini della tradizione accademica pavese si collocano nel Medioevo: già in età carolingia la città assume un ruolo politico e culturale di rilievo. Qui si colloca l'azione di Lotario, spesso richiamata come passaggio significativo nella legittimazione delle attività di studio e nell'affermazione di Pavia come centro di sapere e di formazione, in continuità con la sua funzione di capitale e con la presenza di istituzioni religiose e civili.

1361



La fondazione vera e propria dello Studium Generale avviene nel 1361, con l'istituzione dell'Università di Pavia. Da questo momento la città consolida un sistema di insegnamenti strutturato e riconosciuto, che si sviluppa nel tempo,contribuendo a definire Pavia come città universitaria e a rafforzarene il profilo culturale.

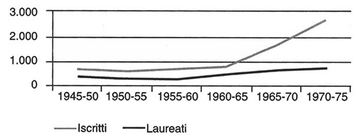
1750-1800

Nei secoli successivi l'Ateneo cresce per dimensione e prestigio, attirando studiosi come Alessandro Volta e Camillo Golgi, emblemi di una tradizione scientifica capace di produrre innovazione e riconoscimento internazionale. La presenza di docenti illustri non è solo un dato biografico, ma un indicatore della capacità dell'Università di incidere sulla città e sulla costruzione di un'identità accademica durevole.





XIX-XX secolo

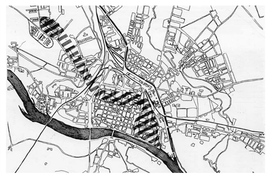


Nel secondo dopoguerra l'Università registra un rapido aumento degli iscritti. La crescita rende necessaria una risposta spaziale e funzionale: si avvia così una stagione di ampliamenti e nuovi sedi, fino alla scelta di affidare il progetto di un nuovo polo didattico a Giancarlo De Carlo.



anni '50-'60

1967



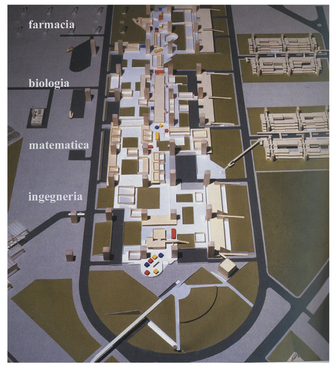
1970

PROGETTO DEL POLO CRAVINO

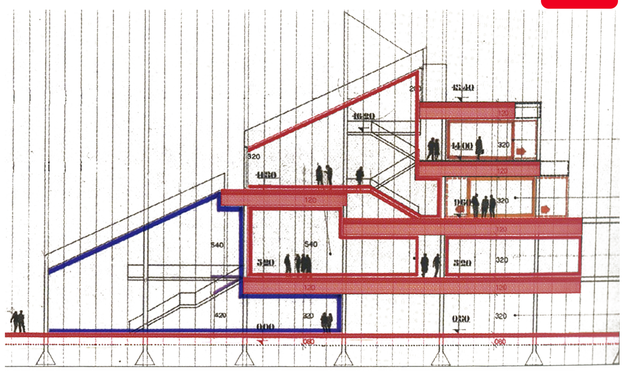
1972-1975

Nel 1970 l'Università di Pavia affida a Giancarlo De Carlo l'incarico per il **piano di sviluppo e ristrutturazione** edilizia dell'Ateneo, che individua l'area Cravino (allora agricola) come polo scientifico-tecnologico. Tra il 1972 e il 1974 De Carlo redige le prime tavole di progetto: planimetrie a griglia modulare, schemi volumetrici e studi per i dipartimenti di Ingegneria, Matematica, Biologia e Farmacia. Il piano si conclude nel 1975, definendo un campus policentrico con spina centrale di servizi pubblici aperti alla città

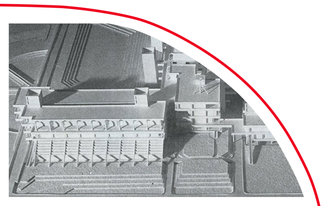


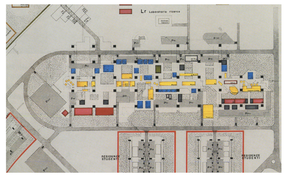


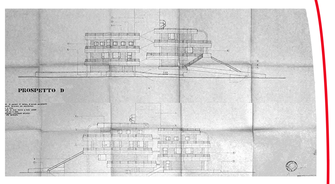
1981



Dalle tavole del 1972–1975 **emerge la griglia modulare** maggiore che ordina l'intero campus in relazione a via Ferrata, al Policlinico e ai percorsi cittadini. Ai suoi incroci si collocano i nuclei verticali per Ingegneria (centro del polo), mentre la griglia minore definisce il passo strutturale degli edifici. Questa struttura duale, realizzata tra il 1983 e il 1985 con i primi stralci del campus, lega il Cravino al tessuto urbano pavese non come enclave isolata, ma come estensione permeabile e pedonale della città .







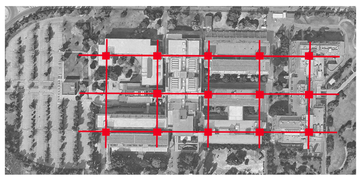




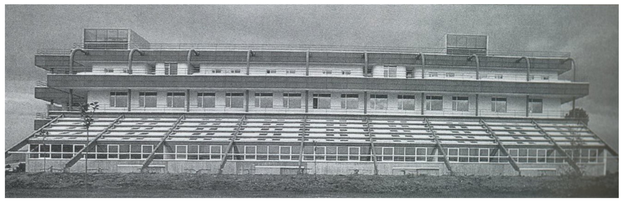
Completati entro il 1985, questi primi blocchi rispettano fedelmente la modularità della griglia, adottando un involucro uniforme in pannelli di acciaio, materiale che garantisce durabilità e un dialogo discreto con il paesaggio pavese. La **flessibilità** intrinseca **del sistema** – basata sulla ripetizione della maglia strutturale – consente negli anni successivi numerosi ampliamenti.



2026

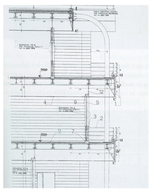


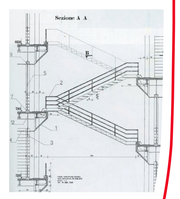


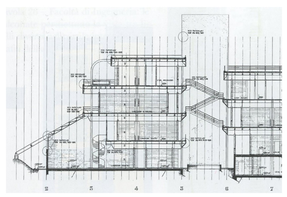


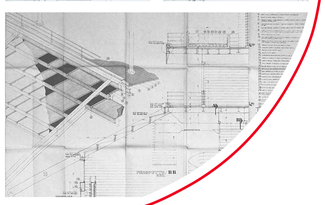
1985

Sollecitata dalle esigenze urgenti della Facoltà di Ingegneria, la costruzione del Polo Cravino prende avvio nel 1983 con i primi stralci del campus, secondo la griglia definita nelle tavole De Carlo del 1972–1975. **Viene realizzato l'iconico edificio** Ingegneria caratterizzato da piani rialzati sospesi su pilotis, grandi oblò circolari che incorniciano il paesaggio e una struttura portante in acciaio a vista che emerge come elemento distintivo. Contemporaneamente si costruiscono altri nuclei, organizzati in corpi paralleli leggermente sfalsati, separati da spazi verdi centrali.









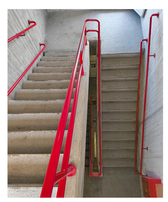
STATO ATTUALE

L'edificio si presenta oggi in condizioni complessivamente buone, ma caratterizzato da diffusi fenomeni di degrado e da una scarsa cura. All'interno si notano discontinuità tra elementi originari e interventi successivi, che hanno alterato in parte la coerenza dei materiali e delle finiture, mentre all'esterno l'immagine architettonica conserva nel complesso la propria autenticità. Le criticità osservate riflettono una **manutenzione disomogenea nel tempo** e la necessità di una maggiore attenzione alla qualità esecutiva e al rispetto del progetto originario.











ESIGENZE — OBIETTIVI

- Assenza di documentazione aggiornata →
- Patrimonio storico - architettonico →
- Quadro normativo in evoluzione → BIM

Si sono evidenziate alcune esigenze fondamentali : l'assenza di una documentazione aggiornata e affidabile dell'edificio, la necessità di tutelarne il valore storico-architettonico e l'importanza di adeguarsi alla normativa in evoluzione, che orienta la gestione del patrimonio edilizio verso l'utilizzo del BIM. L'obiettivo del progetto è quello di fornire un modello informativo che unisca rilievo, conservazione e innovazione, ponendo l'edificio come caso di studio per una gestione consapevole del patrimonio universitario.

UNIVERSITÀ DI PAVIA
UNIVERSITÀ DI PAVIA
INGEGNERIA
EDILE ARCHITETTURA
LABORATORIO TESI
DADA LAB
DRAWING ARCHITECTURE DOCUMENTATION

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ACHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Relatore:
Prof.ssa Francesca Picchio

Correlatore:
Dott.ssa Silvia La Placa

Laureanda:
Laura Galesio

METODOLOGIA SCAN TO BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO

Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia

Il progetto di Glancarlo De Carlo

OBIETTIVI E METODO

MODELLO COME BASE PER LA PROGETTAZIONE

COSA

AFFIDABILITÀ METRICA

INTEGRABILITÀ

INTEROPERABILITÀ

COME

DISEGNO 2D

MODELLO NURBS

MODELLO MESH

MODELLAZIONE INFORMATIVA PARAMETRICA

MODELLO SCAN TO BIM REALIZZATO SU REVIT

Lo strumento BIM è stato scelto perchè permette di integrare rilievo geometrico e dati informativi in un unico modello digitale, aggiornabile nel tempo e utilizzabile come base per la **gestione**, la **manutenzione** programmata e la **progettazione** di interventi sull'edificio.

Il Polo Cravino si presenta come **caso studio ideale** per la sperimentazione di procedure Scan-To-BIM, i cui risultati facilitano il recupero della memoria del progetto

Si vuole dimostrare:

- come attraverso la metodologia Scan-To-BIM si possa ottenere un **modello che risponde alle tendenze progettuali** di De Carlo;
- come tale modello supporti la realizzazione di interventi che seguano la sua **idea di flessibilità** e adattabilità dello spazio;
- come attraverso il modello posso passare da scenari pre a post, facendo un **confronto** con i documenti d'archivio e sviluppando un possibile **scenario futuro**, realizzabile parametrizzando gli elementi.

IMPATTO DEL PROGETTO

IL MODELLO BIM COME STRUMENTO OPERATIVO

Il modello BIM realizzato viene fornito all'Ufficio Tecnico come strumento di supporto per la gestione, manutenzione e progettazione dell'edificio. (progettisti, manutentori e professionisti). Garantisce:

- una base dati geometrica accurata e aggiornata
- supporto alle decisioni di manutenzione
- uno strumento per la progettazione di interventi

METODOLOGIA DALL'ARCHIVIO AL MODELLO

INDAGINI PRELIMINARI



PIANIFICAZIONE DEL RILIEVO

- sopralluogo conoscitivo;
- consultazione documenti d'archivio;
- scelta strumentazione più adeguata.

ACQUISIZIONE DATI



CAMPAGNE DI RILIEVO

1° 178 scansioni

2° 172 scansioni

- 350 scansioni
- 5 giorni



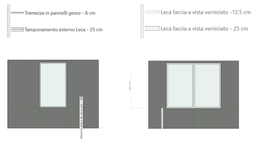
VINCOLI TECNICI E SPAZIALI
- interferenze durante le acquisizioni
- misurazioni puntuali integrative
- condizioni spaziali difficili
- presenza di superfici riflettenti

STRATEGIA DI ACQUISIZIONE
- realizzazione poligonale chiusa
- posizionamento dei target
- gestione dei coni d'ombra





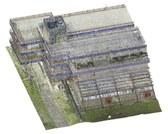






- Catalogazione elementi
- Modellazione famiglie
- Modellazione muri, solai, coperture, ecc.

MODELLO HBIM



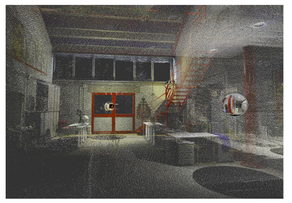


- Suddivisione nuvola in regioni
- Importazione .rcp in Revit
- Definizione LOD





- Importazione job
- Allineamento scansioni
- Recap pro, Cyclone Core, Register360
- Esportazione .e57
- Importazione in Recap
- Pulizia nuvola
- Dimensione file: 360 gb
- Salvataggio .rcp



MODELLAZIONE BIM

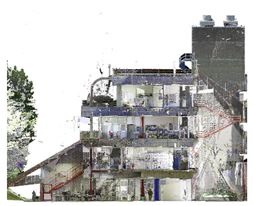
Software utilizzati

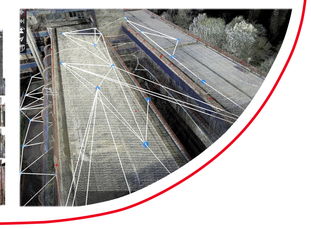


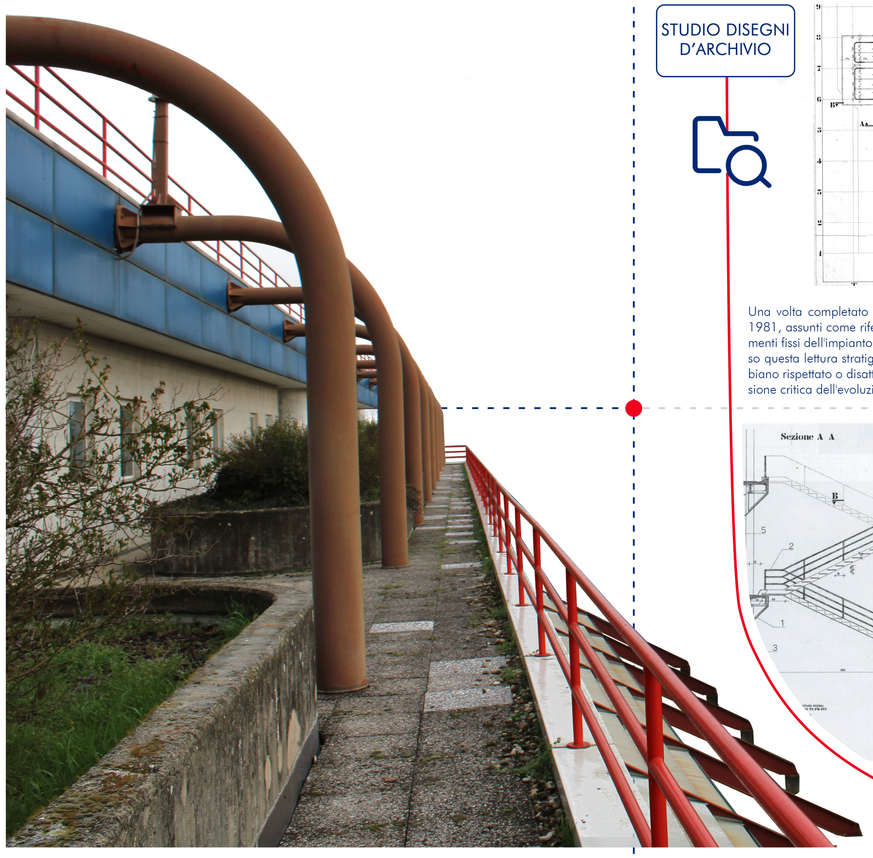
PRO CORE R360+

GESTIONE DELLA NUVOLA

Dopo la fase di acquisizione dei dati mediante laser scanner, segue la registrazione della nuvola di punti. Questa operazione integra le scansioni multiple in un unico sistema di riferimento, garantendo precisione geometrica e completezza per la successiva restituzione del modello HBIM.

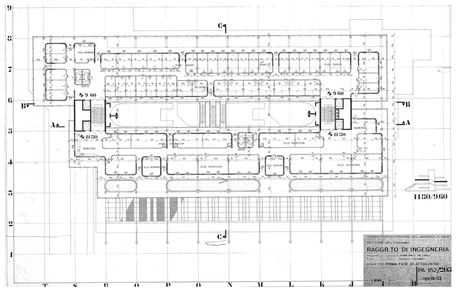






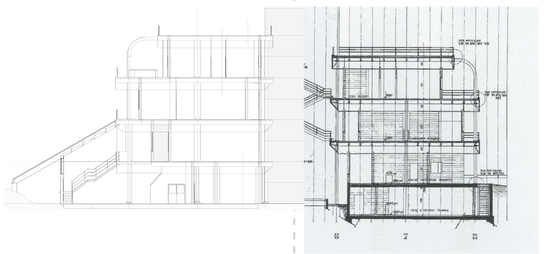
METODOLOGIA DAL MODELLO AL CONFRONTO

STUDIO DISEGNI D'ARCHIVIO



Una volta completato il modello BIM, si procede al confronto con i disegni d'archivio del 1981, assunti come riferimento progettuale originale. L'analisi consente di distinguere gli elementi fissi dell'impianto architettonico dalle modifiche introdotte nel corso degli anni. Attraverso questa lettura stratigrafica, è possibile valutare in quale misura gli interventi successivi abbiano rispettato o disatteso la logica progettuale dell'architetto, contribuendo a una comprensione critica dell'evoluzione dell'edificio nel tempo.

SEZIONE MODELLO - SEZIONE PROGETTO ESECUTIVO

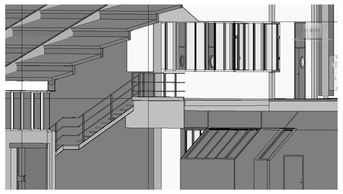


CONFRONTO

METODOLOGIA DAL MODELLO AL PROGETTO

DESCRIZIONE ELEMENTI PARAMETRIZZATI

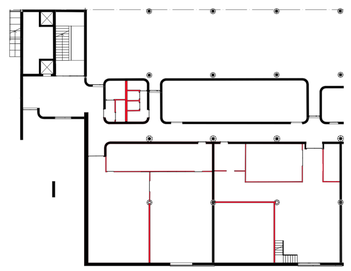
A partire dagli elementi fissi individuati, il modello BIM diventa strumento operativo per la progettazione di interventi futuri, consentendo di verificare la coerenza con la logica compositiva originale e di controllare le interferenze ei nuovi spazi generati. A titolo esemplificativo, questa metodologia viene applicata alla progettazione di un soppalco all'interno di uno dei laboratori.





RISPOSTA ALLE ESIGENZE PROGETTUALI

PLANIMETRIA PIANO A



DEFINIZIONE ELEMENTI FISSI

SVILUPPO SCENARIO

- Coerenza con il modulo compositivo originale dell'architetto
- Reversibilità dell'intervento, per non alterare gli elementi fissi
- Assenza di interferenze con le strutture portanti esistenti
- Compatibilità con gli impianti presenti
- Ottimizzazione dello spazio utile del laboratorio
- Rispetto delle altezze minime regolamentari sopra e sotto il soppalco
- Verifica dell'accessibilità
- Coerenza materica e formale con il carattere dell'edificio



PROPOSTA PROGETTUALE

UNIVERSITÀ DI PAVIA

UNIVERSITÀ DI PAVIA
INGEGNERIA
EDILE ARCHITETTURA
LABORATORIO TESI

DADA LAB
DRAWING ARCHITECTURE DOCUMENTATION

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ACHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Relatore:
Prof.ssa Francesca Picchio

Correlatore:
Dott.ssa Silvia La Placa

Laureanda:
Laura Galesio

METODOLOGIA SCAN TO BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO

Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia

DALL'ARCHIVIO AL MODELLO: DOCUMENTAZIONE

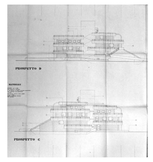
INDAGINI PRELIMINARI E ACQUISIZIONI

RICERCA ARCHIVISTICA











La prima fase del processo è consistita in un'approfondita ricerca d'archivio, mirata a reperire disegni, elaborati grafici e documenti storici relativi al Polo Cravino. Questo lavoro preliminare ha permesso di ricostruire l'evoluzione del complesso e di comprenderne meglio la struttura e le trasformazioni nel tempo.





SOPRALLUOGO E PIANIFICAZIONE











STRUMENTAZIONE

Strumento utilizzato: **Leica RTC360**



IMPOSTAZIONI:

Campo visivo orizzontale: 360°
Campo visivo verticale: 300°
Velocità: > 2.000.000 punti / secondo
Fotocamera: 3 fotocamere da 36 MP
Dimensioni: 20 mm x 240 mm x 230 mm
Peso: 5,35 kg
Range: Da 0,5 a 130 m
Immagini: HDR

Tempo di acquisizione: 1.51 min / scan

Per il rilievo è stato utilizzato un laser scanner terrestre Leica RTC360, strumento in grado di acquisire in modo rapido e automatico nuvole di punti ad alta densità e fotografie panoramiche associate. Il dispositivo combina la misurazione tridimensionale mediante impulso laser con la registrazione di immagini a colori, producendo scansioni georiferite che descrivono con precisione geometria e aspetto materico degli ambienti.

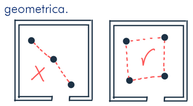


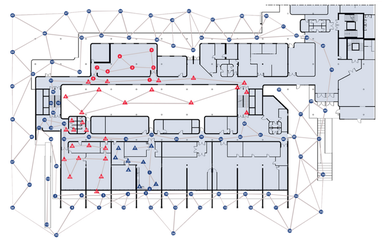
Leica Geosystems

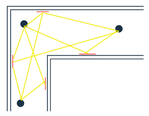
CARATTERISTICHE DEL RILIEVO

STRATEGIA ACQUISIZIONE

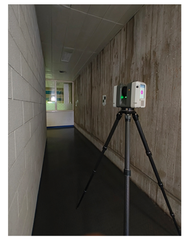
Per garantire un rilievo accurato e risultati metricamente affidabili, è stata realizzata una poligonale chiusa tra le scansioni. Questa procedura lega le diverse acquisizioni minimizzando gli errori di posizionamento e assicurando continuità geometrica.







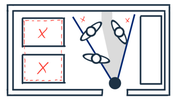
L'utilizzo di target garantisce un maggiore controllo nell'allineamento delle scansioni, specialmente in zone complesse, riducendo errori e migliorando l'affidabilità metrica della nuvola.

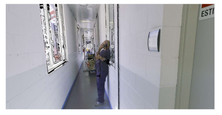




POLIGONALE CHIUSA / VINCOLI TECNICI E SPAZIALI

La presenza di persone e di spazi non sempre agevoli hanno rappresentato significative difficoltà durante il rilievo. Queste condizioni hanno richiesto continue interruzioni per evitare interferenze nelle scansioni aumentando i tempi operativi.

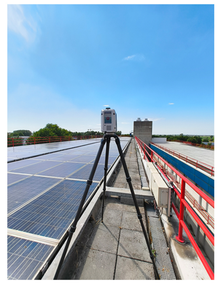




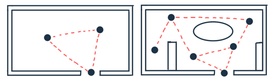








TARGET / CONI D'OMBRA

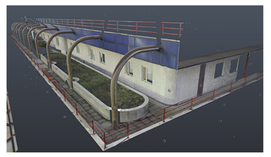


Il laser scanner genera coni d'ombra, per cui in stanze vuote bastano scansioni angolari per una copertura completa, mentre se sono presenti arredi o ingombri, le scansioni vanno distribuite con maggiore attenzione per minimizzare le aree non rilevate.









RILIEVO SUL CAMPO









È seguita la fase di acquisizione dei dati sul campo. Il rilievo è stato condotto garantendo copertura completa del complesso tramite adeguate sovrapposizioni tra stazioni. Sono state registrate geometria tridimensionale e informazioni cromatiche, prestando attenzione a stabilità dello strumento e condizioni ambientali.







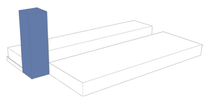
CAMPAGNE DI RILIEVO

Prima:

178 scansioni

3 giorni di lavoro





FASI DI ACQUISIZIONE

Seconda:

172 scansioni

2 giorni di lavoro

SCHEMA PLANIMETRICO DELLE SCANSIONI

350 scansioni totali

Il rilievo del Polo Cravino è stato condotto in due campagne distinte, per un totale di 5 giorni di lavoro sul campo e 350 scansioni acquisite. Questa organizzazione in fasi separate ha permesso di ottimizzare la gestione logistica, adattandosi alle disponibilità degli spazi universitari e minimizzando le interferenze con le attività in corso, pur garantendo una copertura completa e sistematica del complesso.

UNIVERSITÀ DI PAVIA

UNIVERSITÀ DI PAVIA
INGEGNERIA
EDILE ARCHITETTURA
LABORATORIO TESI

DADA LAB
DRAWING ARCHITECTURE DOCUMENTATION

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ACHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Relatore:
Prof.ssa Francesca Picchio

Correlatore:
Dott.ssa Silvia La Placa

Laureanda:
Laura Galesio

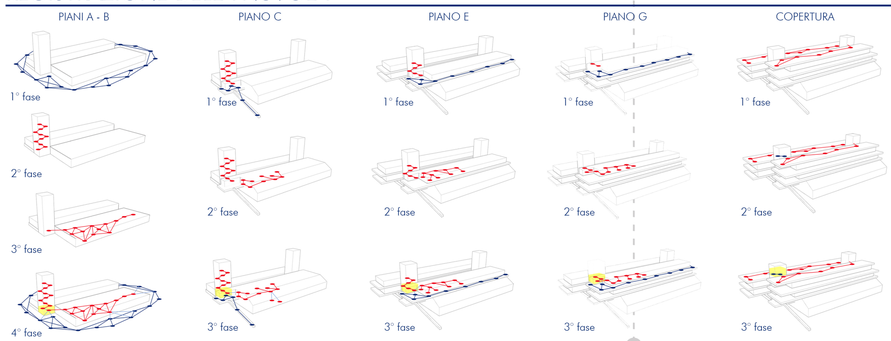
METODOLOGIA SCAN TO BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO

Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia

Dall'archivio al modello: documentazione

DALL'ARCHIVIO AL MODELLO: GESTIONE

REGISTRAZIONE DELLA NUVOLA



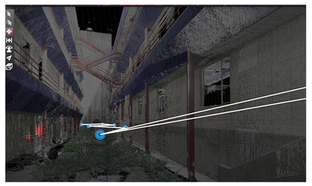
Errore gruppo 0.004 m ✓

La strategia di allineamento adottata in tutte le fasi del processo è quella schematizzata nello schema a fianco, basata su un'unione progressiva dei singoli job di scansione. Al termine della registrazione, l'errore totale della nuvola risulta pari a 4 mm, valore pienamente coerente con gli standard di accuratezza richiesti per questa tipologia di rilievo.

Area di unione dei blocchi di registrazione

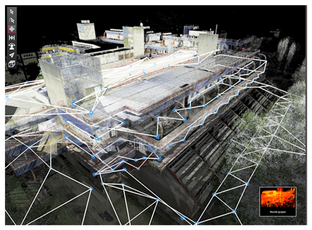
	RECAP PRO	CYCLONE CORE	REGISTER360
METODO ALLINEAMENTO	per punti	visuale	visuale
QUALITA' COLORE	buona	scarsa	buona
CONTROLLO	basso	medio	alto
TEMPO	medio	medio	breve
ESITO	scartato	scartato	adottato

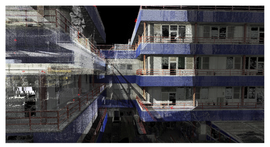
CYCLONE REGISTER360

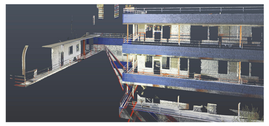


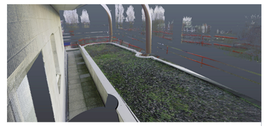
Si è quindi proceduto all'allineamento completo delle scansioni all'interno di Leica Cyclone Register360. In questo ambiente il colore risultava correttamente distribuito e il processo di registrazione poteva essere gestito in modalità visuale, consentendo un controllo efficace della nuvola complessiva. Inoltre, i tempi di elaborazione si sono rivelati sensibilmente più rapidi rispetto ai software precedentemente utilizzati, ottimizzando l'intero flusso di lavoro.

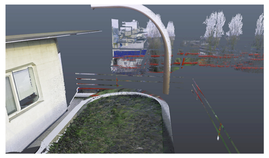


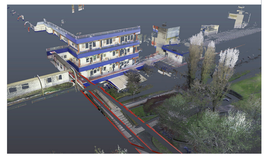










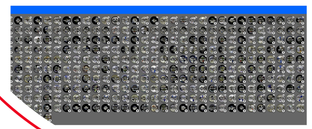


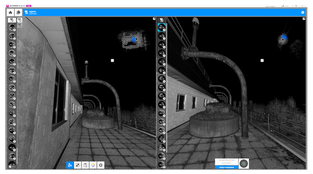
Durante la fase di registrazione in CycloneCore è stato riscontrato un errore nella distribuzione del colore all'interno della nuvola di punti, evidenziato da una resa cromatica non uniforme Tale anomalia è risultata presumibilmente legata alla presenza diffusa di superfici riflettenti, che hanno interferito con l'acquisizione delle immagini fotografiche utilizzate per la colorazione della nuvola.

RECAP PRO



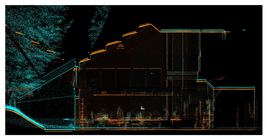
Una volta importati tutti i job di scansione, la nuvola di punti è stata allineata all'interno del software ReCap. Il programma consente l'allineamento manuale delle varie scansioni tramite l'individuazione di punti omologhi, fornendo un indicatore di qualità dell'allineamento. Tuttavia, tale parametro non risulta sempre pienamente affidabile. Inoltre, il processo di allineamento in ReCap permette un controllo limitato della nuvola complessiva, rendendo meno agevole la verifica visiva dell'esito dell'unione.

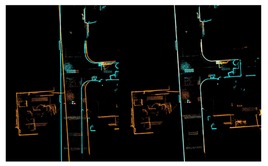


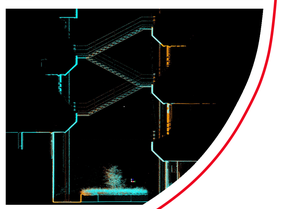


CYCLONE CORE

Successivamente, si è proceduto all'allineamento della nuvola di punti all'interno del software CycloneCore. In questo ambiente è possibile effettuare l'allineamento in modalità visuale, verificando in tempo reale la sovrapposizione tra le diverse scansioni e intervenendo manualmente per correggere eventuali discrepanze.







ALLINEAMENTO

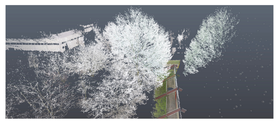
PULIZIA DELLA NUVOLA

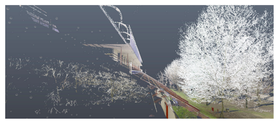
Dopo la fase di registrazione della nuvola di punti, il dataset è stato importato all'interno del software Autodesk ReCap, dove si è proceduto all'analisi attivando e verificando una scansione alla volta. In questa fase sono stati rimossi i punti in eccesso e i disturbi generati principalmente dalla presenza di superfici vetrate e riflettenti.

Tali elementi, infatti, costituiscono una fonte di errore per la tecnologia laser scanner: il raggio laser, anziché riflettersi in modo diffuso come sulle superfici opache, attraversa o viene rifratto dal vetro, causando una perdita o un'errata restituzione del segnale.

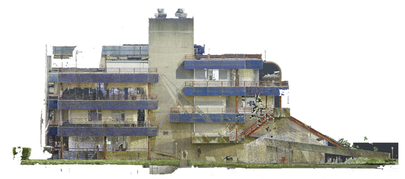


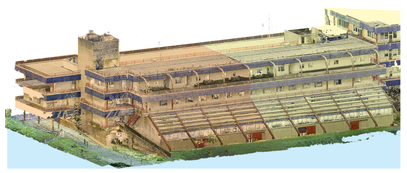






DIVISIONE IN REGIONI





Considerato l'elevato peso del dataset complessivo, pari a circa 350GB, la nuvola di punti è stata suddivisa in più regioni, corrispondenti a porzioni dell'edificio. Questa suddivisione è risultata necessaria per rendere il file più maneggevole nelle fasi successive di elaborazione e modellazione in Autodesk Revit.
Lavorare su porzioni limitate di nuvola ha permesso di ottimizzare le prestazioni del software, riducendo i tempi di caricamento e migliorando la fluidità nella navigazione del modello.

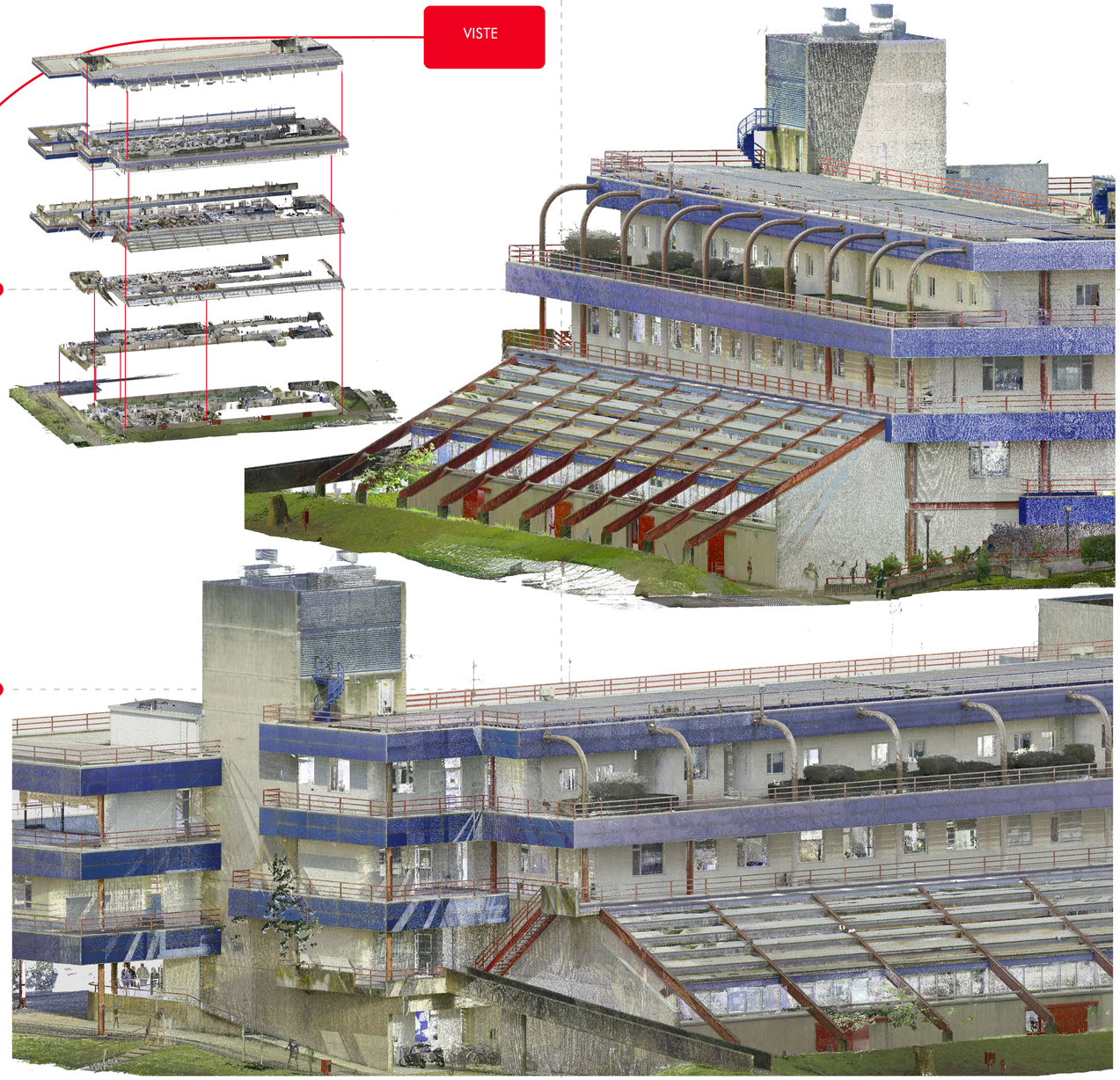
AREA CIRCOSTANTE

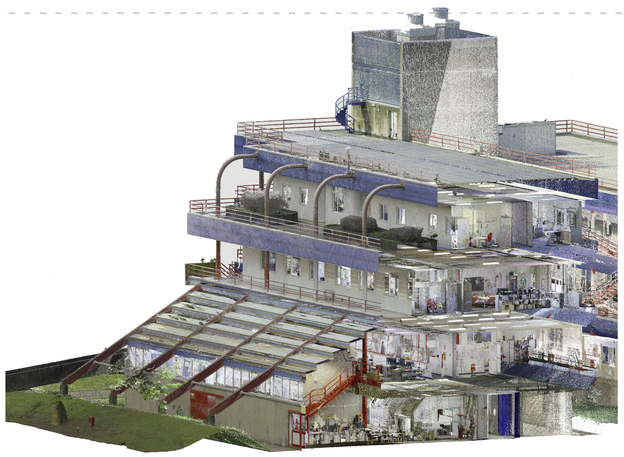
EDIFICIO

EDIFICIO CON INTERNI

NUVOLA DI PUNTI

VISTE





UNIVERSITÀ DI PAVIA

UNIVERSITÀ DI PAVIA
INGEGNERIA
EDILE ARCHITETTURA
LABORATORIO TESI

DADA LAB
DRAWING ARCHITECTURE DOCUMENTATION

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ACHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Relatore:
Prof.ssa Francesca Picchio

Correlatore:
Dott.ssa Silvia La Placa

Laureanda:
Laura Galesio

METODOLOGIA SCAN TO BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO

Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia

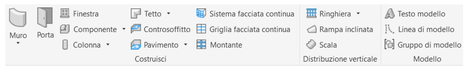
Dall'archivio al modello: gestione

4

MODELLAZIONE PARAMETRICA

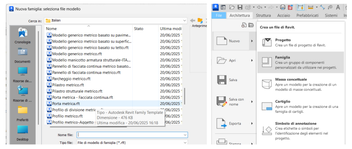
FAMIGLIE PARAMETRICHE

- FAMIGLIE DI SISTEMA



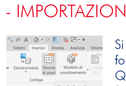
Le famiglie di sistema in Revit sono componenti predefiniti all'interno del software, non sono modificabili o caricabili da file esterni come le famiglie caricabili. Esse raggruppano e definiscono tutti gli elementi strutturali principali dell'edificio, tra cui **muri**, **solai**, **travi** e **coperture**, garantendo coerenza geometrica e parametrizzazione automatica nel modello BIM.

- FAMIGLIE CARICABILI



Le famiglie caricabili di Revit si creano in **file esterni** dedicati con estensione .rfa, pronti per essere caricati e importati nel progetto tramite la Libreria delle famiglie. Contengono tipicamente elementi non strutturali come porte, finestre, infissi, arredi, apparecchiature MEP e dettagli personalizzati. Si distinguono dalle famiglie di sistema per la loro flessibilità e customizzazione

- FAMIGLIE LOCALI



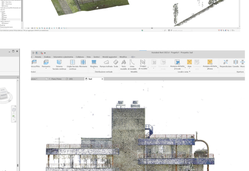
Le famiglie locali rappresentano **elementi univoci** generati dall'utente nel progetto Revit mediante il comando "Modello locale", al quale si associa una categoria famiglia appropriata. Esse consistono in componenti modellati su misura, dotati di caratteristiche specifiche e non ripetibili, ideali per dettagli contestuali irripetibili come elementi decorativi.

MODELLAZIONE FAMIGLIA

- CREAZIONE NUOVA FAMIGLIA



Per creare una famiglia personalizzata in Revit, si parte dall'apertura di un file template .rft, selezionando la categoria adatta. Si editano i livelli di riferimento per impostare altezze e piani di lavoro, quindi si procede alla modellazione solida: estrusioni per volumi base regolari, solidi di sottrazione per creare vuoti e dettagli negativi, ed estrusioni su percorso per forme curve o profili complessi come cornici.



- CREAZIONE ESTRUSIONI

Solido di sottrazione

Estrusione

Estrusione su percorso

- CREAZIONE PARAMETRI

Creazione quota

Assegnazione testo etichetta alla quota

Creazione parametro di Tipo

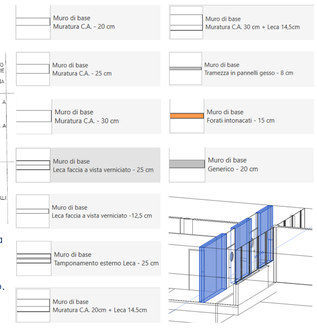
Esploso assonometrico

FAMIGLIE DI SISTEMA

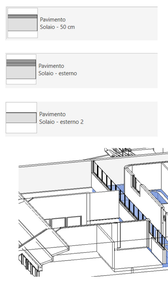
Muri

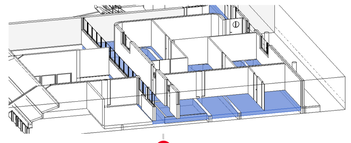


Nei disegni d'archivio la stratigrafia dei muri di progetto era rappresentata in modo dettagliato. Tali informazioni sono state riprodotte in Revit.

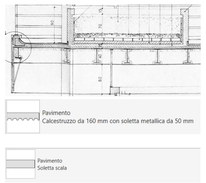


Pavimenti

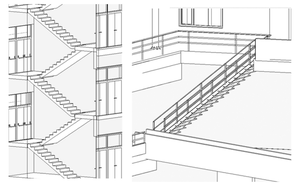


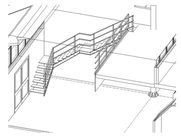


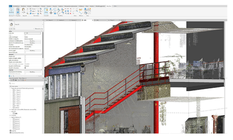
Scale



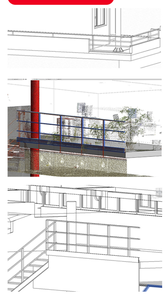
Le scale sono state modellate in Revit tracciando il contorno dalla nuvola di punti e assegnando i materiali corrispondenti a quelli rilevati.



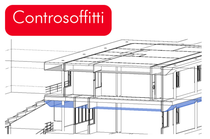


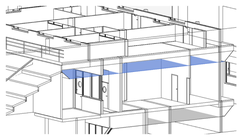


Ringhiere

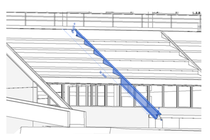


Controsoffitti



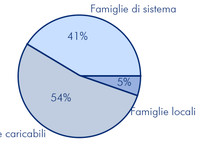


Travi





Distribuzione famiglie nel modello:



FAMIGLIE CARICABILI

Finestre

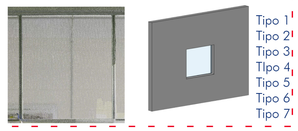
SER_EST_A — N° parametri: 18



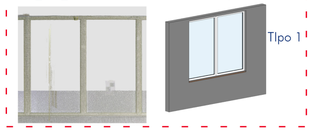
SER_EST_AM — N° parametri: 13



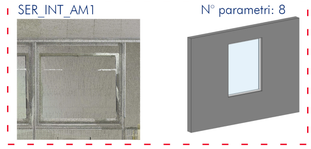
SER_INT_AF1 — N° parametri: 7



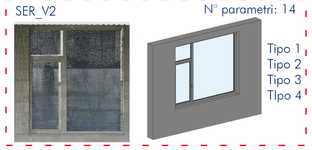
SER_INT_AF2 — N° parametri: 8



SER_INT_AM1 — N° parametri: 8

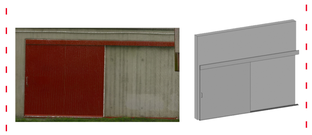


SER_V2 — N° parametri: 14



Porte

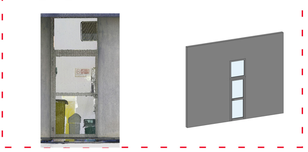
POR_EST — N° parametri: 30



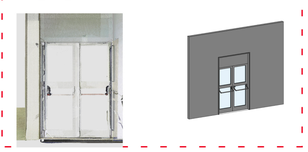
POR_EST_DADA — N° parametri: 39



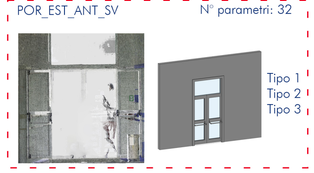
POR_EST_A1 — N° parametri: 21



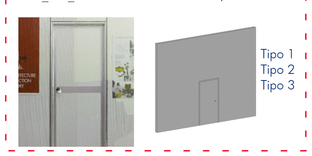
POR_EST_ANT — N° parametri: 32



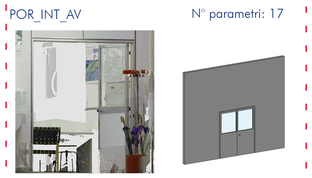
POR_EST_ANT_SV — N° parametri: 32



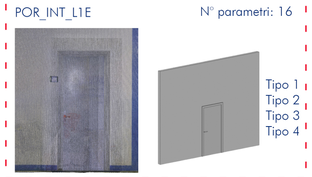
POR_INT_A1 — N° parametri: 11



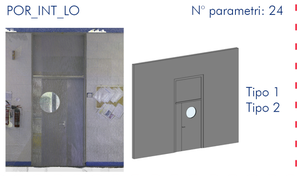
POR_INT_AV — N° parametri: 17



POR_INT_L1E — N° parametri: 16



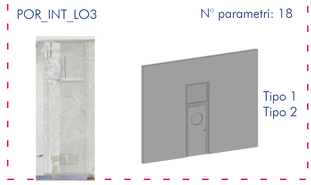
POR_INT_LO — N° parametri: 24



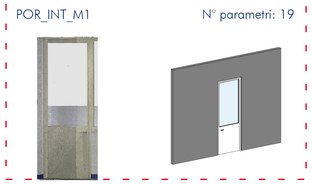
POR_INT_LO2 — N° parametri: 24



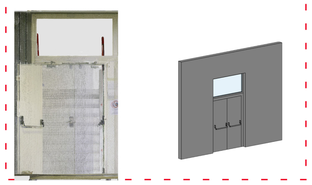
POR_INT_LO3 — N° parametri: 18



POR_INT_M1 — N° parametri: 19



POR_INT_TS — N° parametri: 28



POR_INT_VUOTO — N° parametri: 2

SER_EST_SO — N° parametri: 24

SER_EST_SV — N° parametri: 24

Pilastri

FAMIGLIE LOCALI

MODELLO CENTRALE

- IMPORTAZIONE NUVOLA DI PUNTI

Si importa la **nuvola di punti** in Revit nel formato .rcp, prodotto da Autodesk ReCap. Questo passaggio consente di integrare fedelmente la geometria esistente del Polo Cravino nel flusso di lavoro Scan-to-BIM, mantenendo intatte le informazioni metriche. Si procede quindi impostando il nord di progetto che permette di ruotare l'intero modello.

- CREAZIONE GRIGLIA E LIVELLI

Dopo aver impostato il nord di progetto, si procede all'analisi diretta della nuvola per individuare i livelli dei pavimenti e gli assi dei pilastri portanti. Questi riferimenti, estratti tramite sezioni e filtri sulla nuvola di punti, guidano fedelmente la **costruzione geometrica** del modello, integrando dati storici e metrici per una documentazione HBIM esaustiva e certificata.

LIVELLO DI DETTAGLIO

In fase di modellazione BIM è fondamentale scegliere il Livello di Sviluppo (LOD) guidato dalla normativa UNI 11337, in base agli obiettivi del progetto e alle fasi di lavoro previste.
La **norma UNI 11337-1** classifica i LOD da A (schematizzazione generica) a G (as-built storico). Per l'analisi HBIM del Polo Cravino si è adottato **LOD D** (oggetto dettagliato): geometria accurata degli elementi, ingombri di manutenzione e informazioni qualitative/quantitative complete (materiali, stratigrafie).

UNIVERSITÀ DI PAVIA
UNIVERSITÀ DI PAVIA
INGEGNERIA
EDILE ARCHITETTURA
LABORATORIO TESI
DAda LAB
DRAWING ARCHITECTURE DOCUMENTATION

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ACHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Relatore:
Prof.ssa Francesca Picchio

Correlatore:
Dott.ssa Silvia La Placa

Laureanda:
Laura Galesio

METODOLOGIA SCAN TO BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO

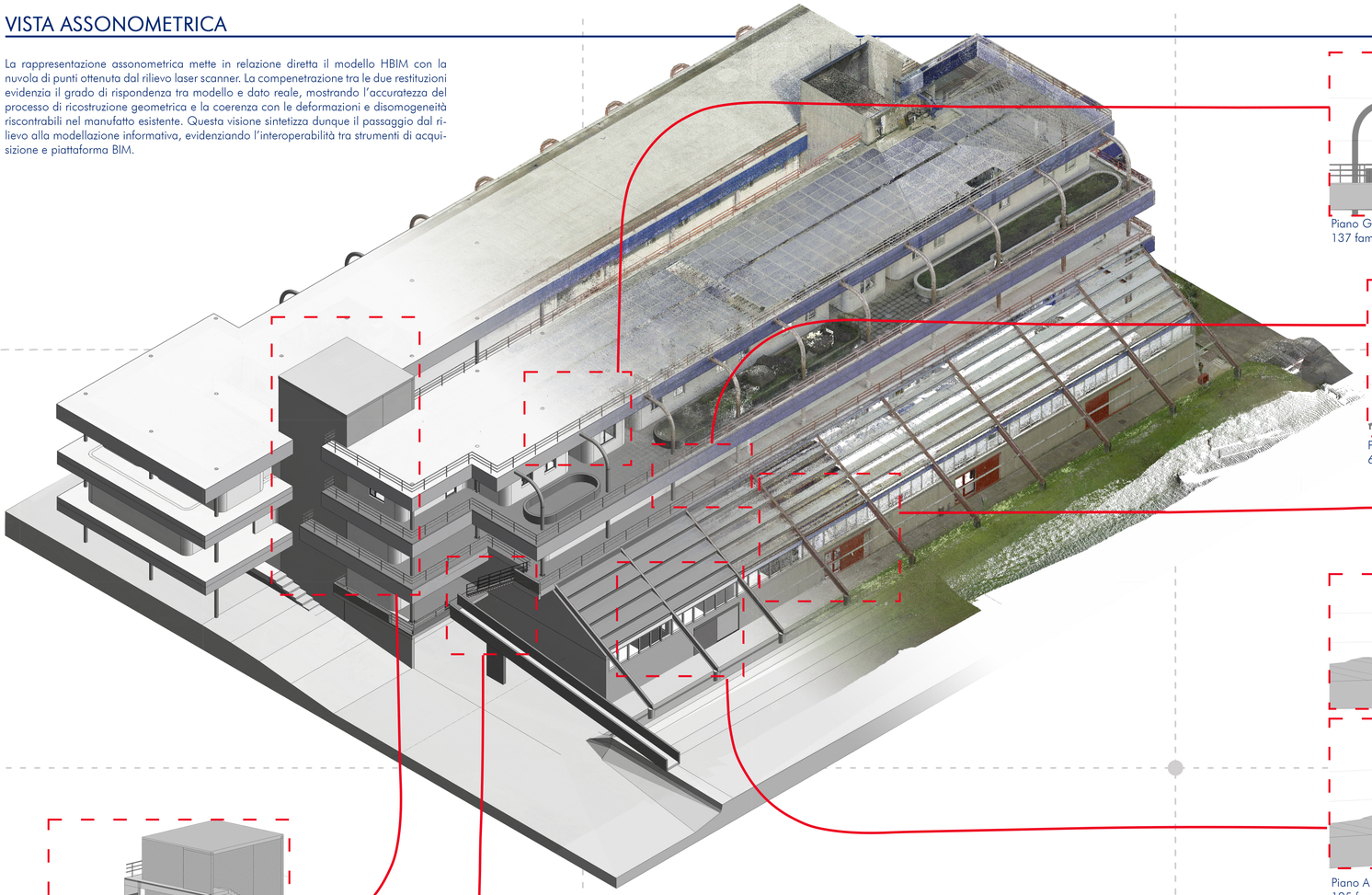
Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia

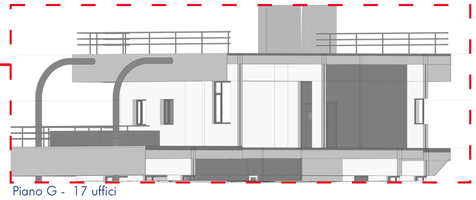
Dall'archivio al modello: modellazione parametrica

MODELLO HBIM

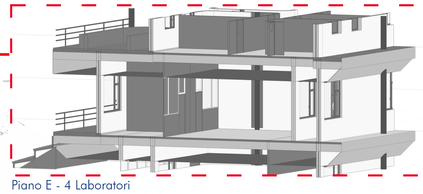
VISTA ASSONOMETRICA

La rappresentazione assonometrica mette in relazione diretta il modello HBIM con la nuvola di punti ottenuta dal rilievo laser scanner. La compenetrazione tra le due restituzioni evidenzia il grado di rispondenza tra modello e dato reale, mostrando l'accuratezza del processo di ricostruzione geometrica e la coerenza con le deformazioni e disomogeneità riscontrabili nel manufatto esistente. Questa visione sintetizza dunque il passaggio dal rilievo alla modellazione informativa, evidenziando l'interoperabilità tra strumenti di acquisizione e piattaforma BIM.

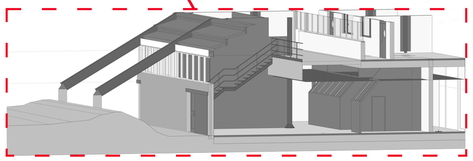




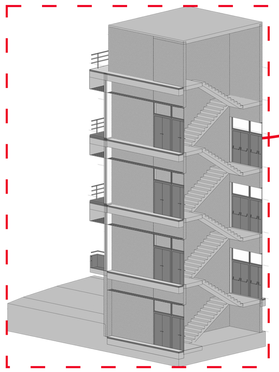
Piano G - 17 uffici
137 famiglie di sistema - 107 famiglie caricabili



Piano E - 4 Laboratori
66 famiglie di sistema - 111 famiglie caricabili



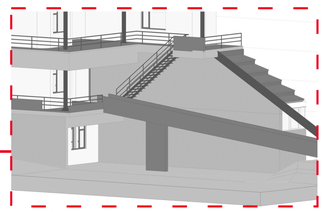
Piano A - 3 Laboratori
125 famiglie di sistema - 114 famiglie caricabili



Dettaglio scale

Piano	Famiglie di sistema					Famiglie caricabili		
	Muri	Pavimenti	Scale	Ringhiere	Controsoffitto	Porte	Finestre	Pilastri
A	117	3	3	/	2	30	37	47
B	47	3	2	/	1	5	34	17
C	55	5	2	3	1	16	27	48
E	57	4	1	3	1	17	45	49
G	129	4	1	2	1	24	34	49

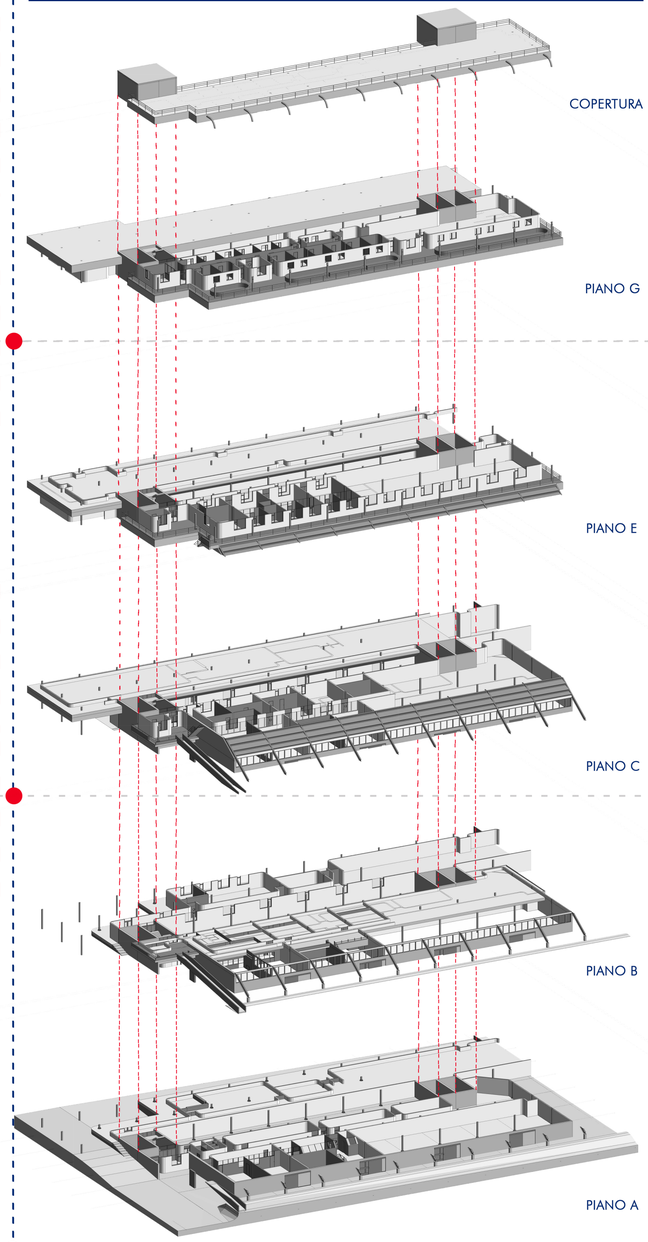
Riassunto famiglie modellate per ogni piano



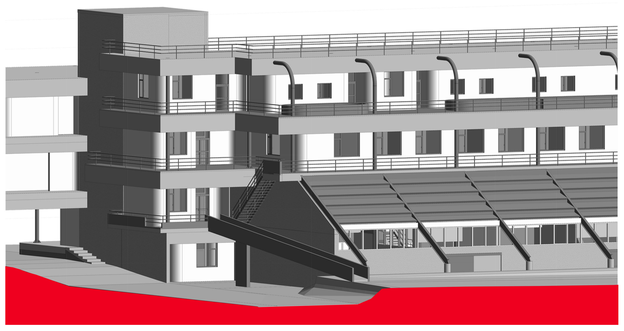
Dettaglio esterno

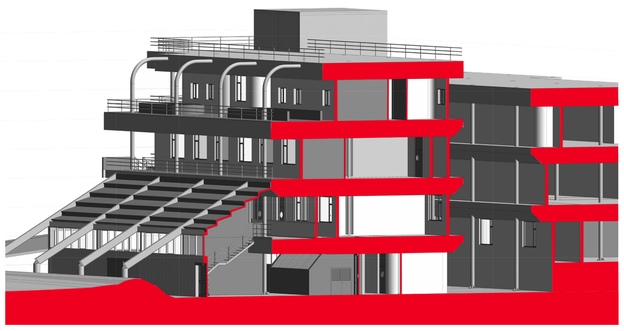
Nei dettagli interni relativi ai diversi livelli, il modello HBIM viene approfondito nei suoi componenti architettonici e strutturali principali. Ogni elemento è stato restituito secondo livelli di dettaglio calibrati sul grado di conoscenza e sulla qualità del dato disponibile, integrando informazioni materiche e costruttive. Le viste mettono in evidenza l'organizzazione spaziale degli ambienti, i rapporti tra le strutture verticali e orizzontali, e la potenzialità del modello come strumento di analisi e gestione del bene storico.

ESPLOSO



VISTE







UNIVERSITÀ DI PAVIA

UNIVERSITÀ DI PAVIA
INGEGNERIA
EDILE ARCHITETTURA
LABORATORIO TESI

DADA LAB
DRAWING ARCHITECTURE DOCUMENTATION

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ACHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Relatore:
Prof.ssa Francesca Picchio

Correlatore:
Dott.ssa Silvia La Placa

Laureanda:
Laura Galesio

METODOLOGIA SCAN TO BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO

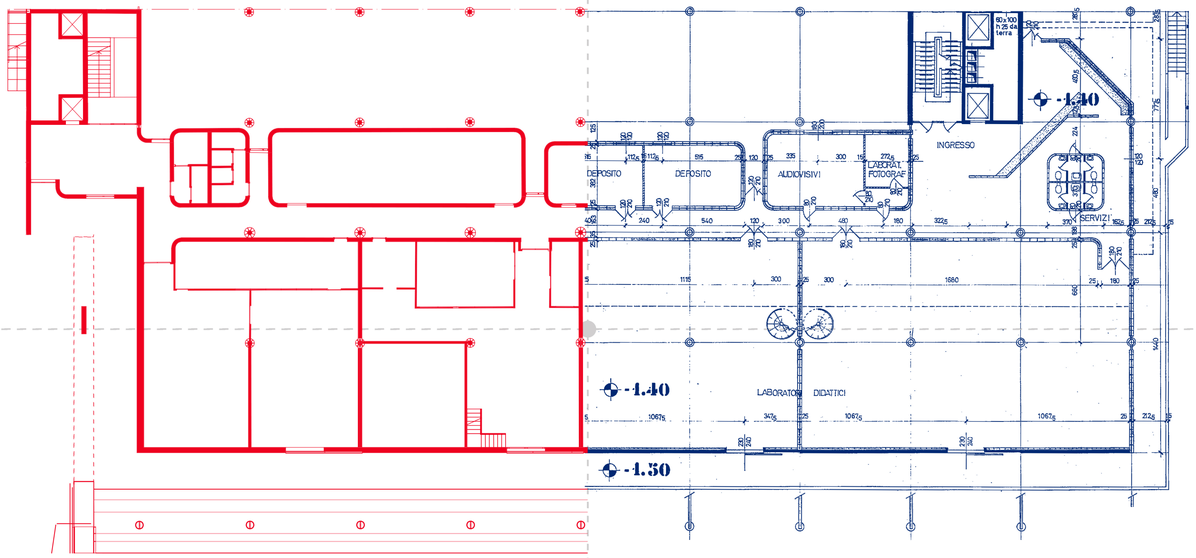
Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia

Dall'archivio al modello: il modello HBIM

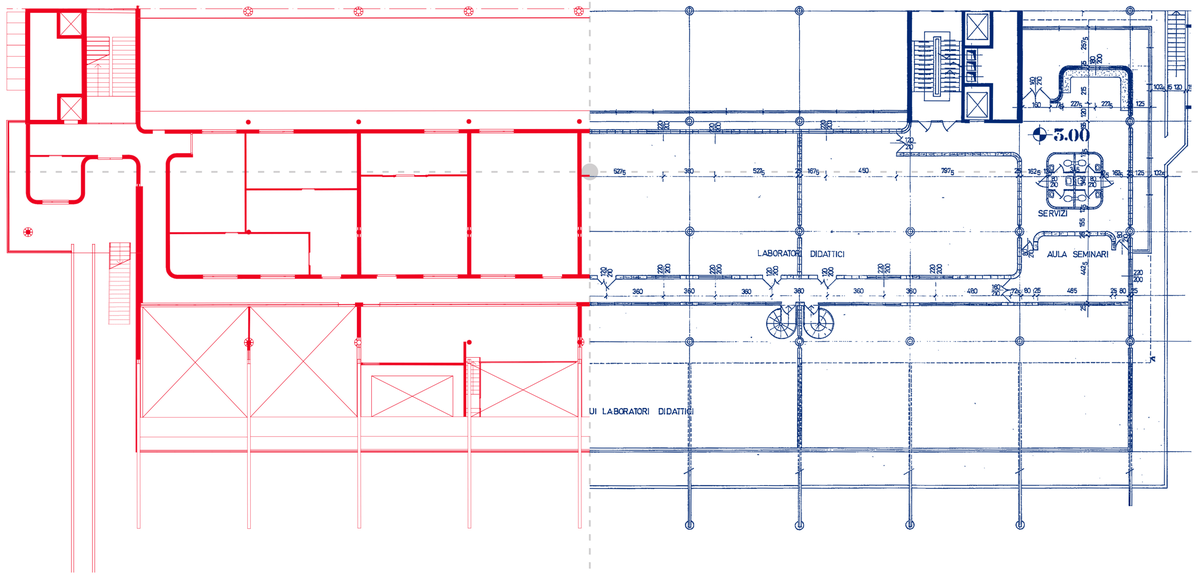
DISEGNI 2D

MODELLO

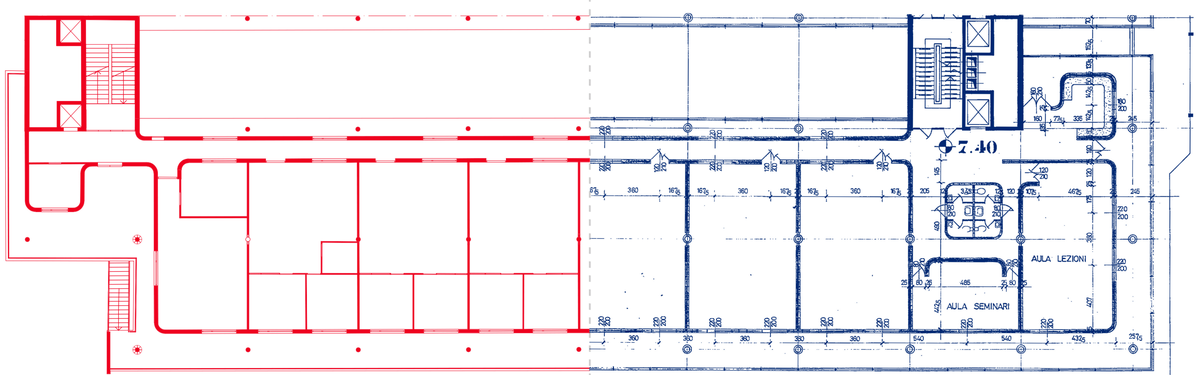
DE CARLO



PLANIMETRIA PIANO A



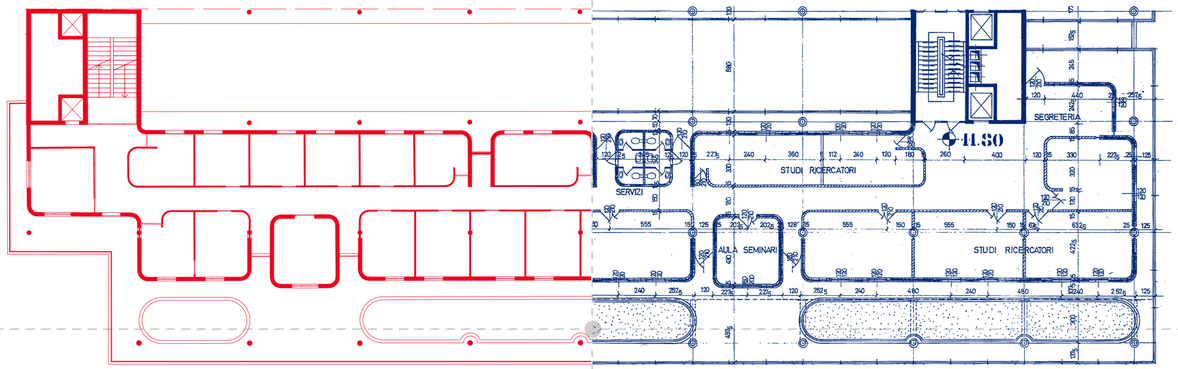
PLANIMETRIA PIANO C



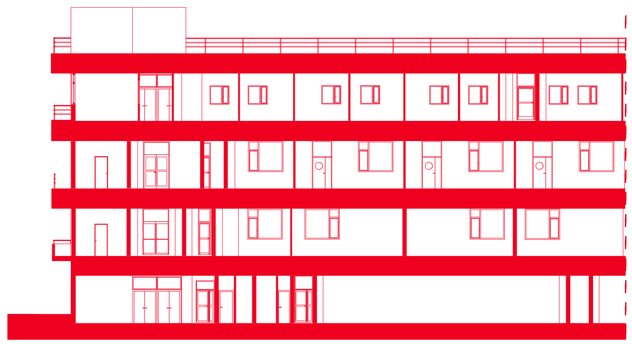
PLANIMETRIA PIANO E

MODELLO

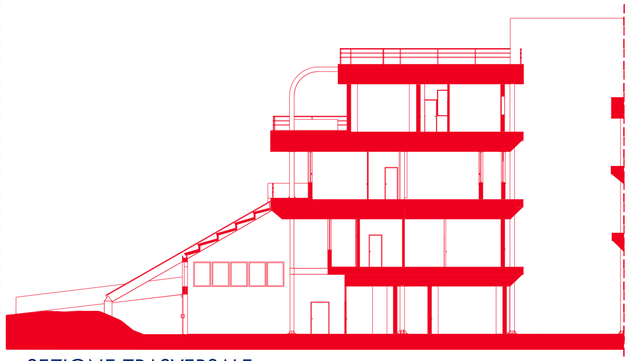
DE CARLO



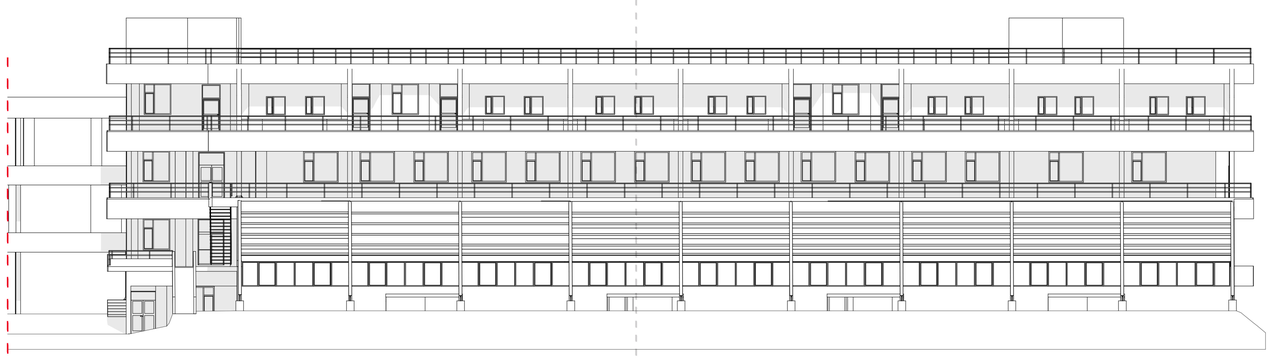
PLANIMETRIA PIANO G



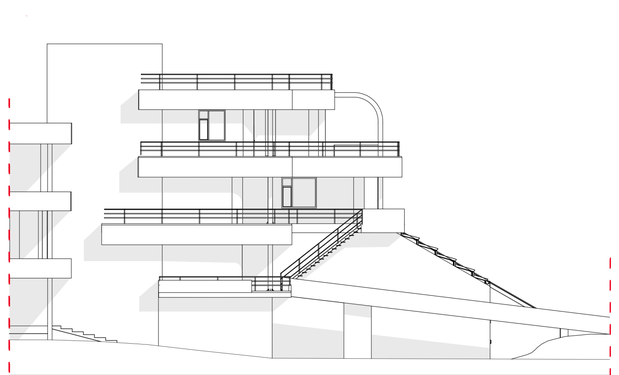
SEZIONE LONGITUDINALE



SEZIONE TRASVERSALE



PROSPETTO



PROSPETTO

UNIVERSITÀ DI PAVIA

UNIVERSITÀ DI PAVIA
INGEGNERIA
EDILE ARCHITETTURA
LABORATORIO TESI

DAda LAB
DRAWING ARCHITECTURE DOCUMENTATION

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ACHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Relatore:
Prof.ssa Francesca Picchio

Correlatore:
Dott.ssa Silvia La Placa

Laureanda:
Laura Galesio

METODOLOGIA SCAN TO BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO

Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia

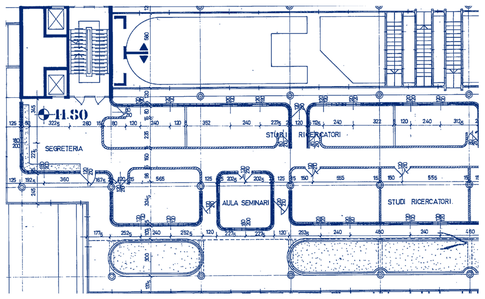
Disegni 2D: scala 1:200

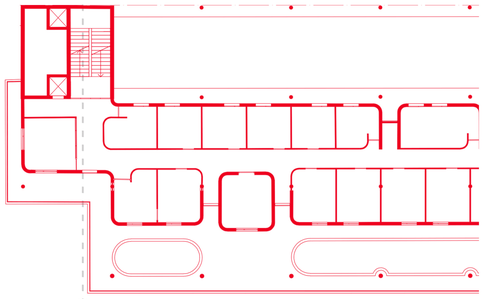
CONFRONTO DOCUMENTI D'ARCHIVIO E STATO DI FATTO

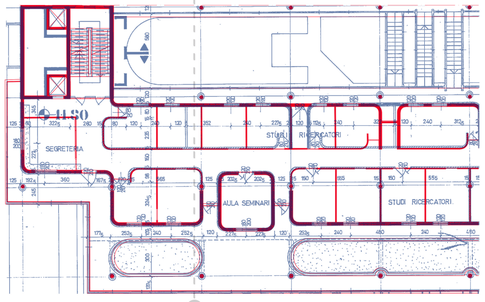
DE CARLO

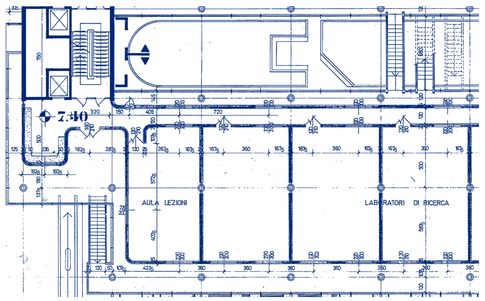
MODELLO

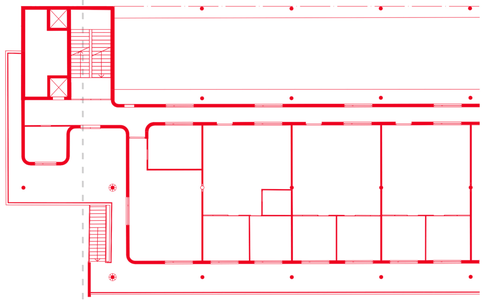
CONFRONTO

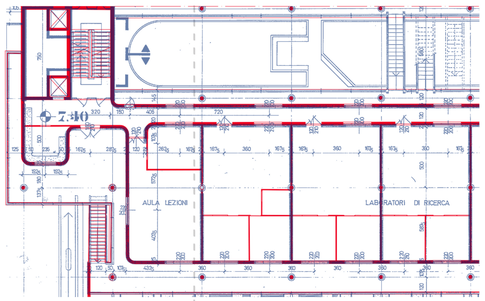


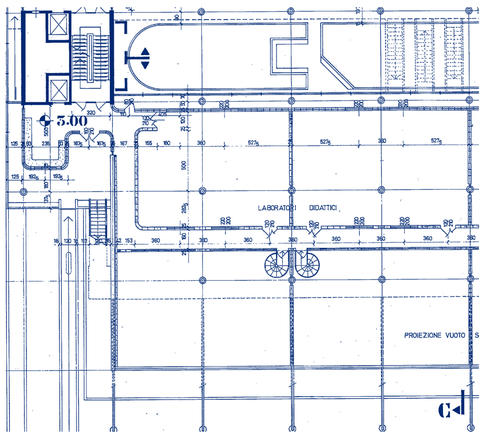


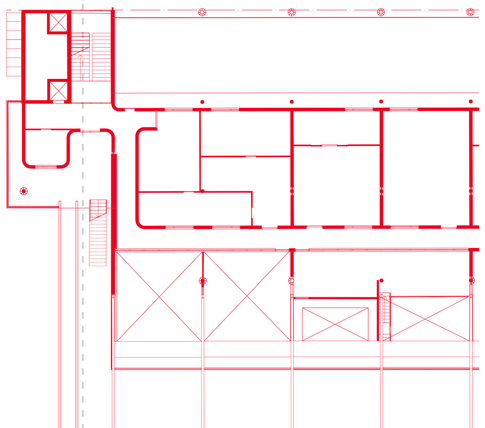


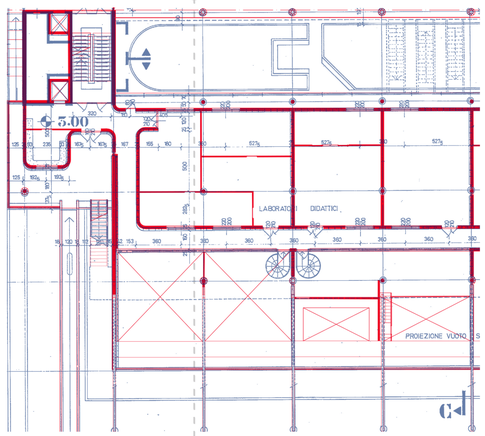


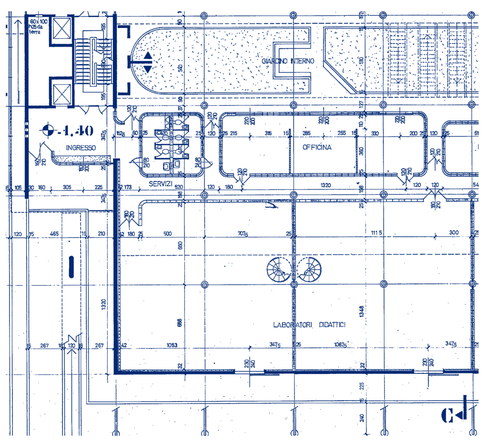


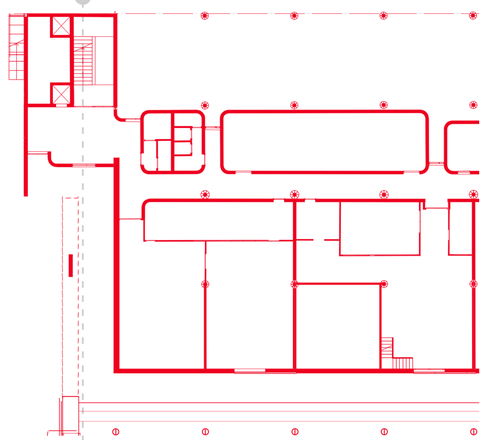


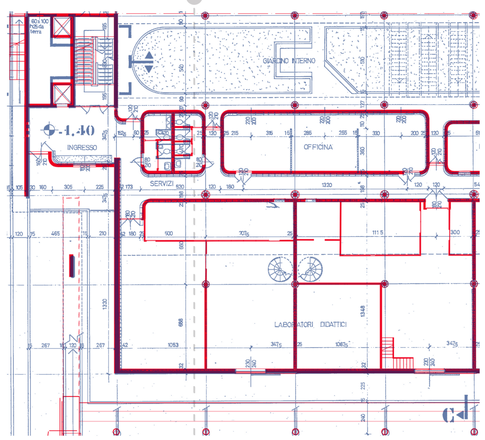






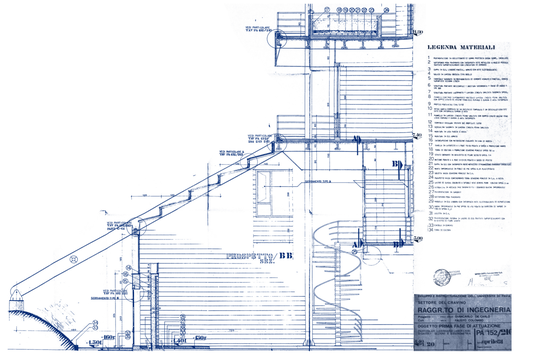






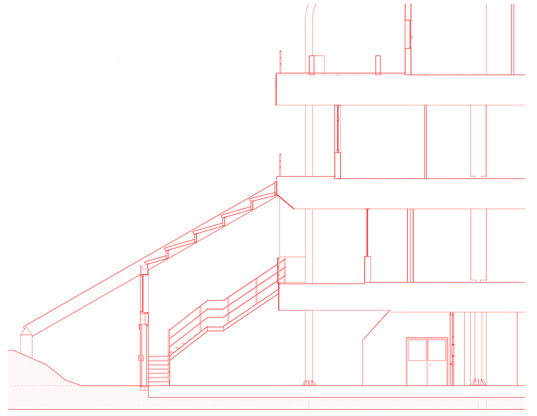
PIANO G

La struttura perimetrale esterna risulta sostanzialmente conforme al progetto originario, ad eccezione dei muri che affacciano sulla corte interna, dove si riscontrano alcune difformità geometriche. Le partizioni interne degli uffici risultano aggiunte in un momento successivo alla costruzione e non sono presenti negli elaborati d'archivio. Si segnala inoltre che i muri interni presentano spessori ridotti rispetto a quelli indicati nei disegni di De Carlo.



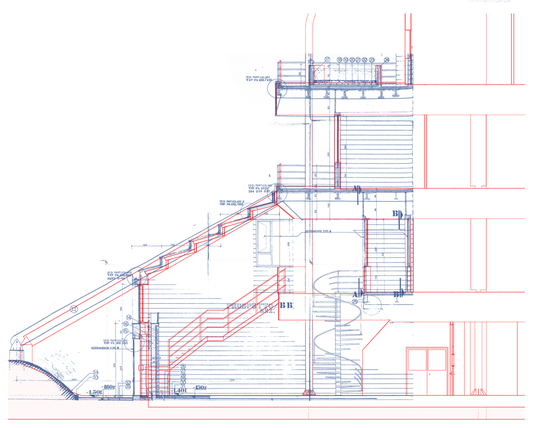
PIANO E

I muri perimetrali e i setti divisori principali dei laboratori corrispondono al progetto originario. Le partizioni interne di ciascun laboratorio risultano invece aggiunte successivamente: non compaiono negli elaborati d'archivio e rispondono a esigenze di suddivisione degli spazi maturate nel tempo. Porte e finestre risultano conformi al progetto per posizione e dimensione.



PIANO C

Anche in questo piano i muri perimetrali e i setti principali dei laboratori corrispondono agli elaborati del 1981. Le partizioni interne risultano aggiunte in un momento successivo. Si segnalano due variazioni significative: l'inserimento del soppalco nel laboratorio Dada Lab, non previsto nel progetto originario, e la mancata realizzazione delle scale a chiocciola disegnate da De Carlo.



PIANO A

I muri perimetrali risultano conformi al progetto originario. All'interno dei laboratori sono stati inseriti numerosi setti murari aggiuntivi, non presenti negli elaborati d'archivio, in risposta alle specifiche esigenze funzionali di ogni spazio nel corso degli anni.

NOTA METODOLOGICA

Il confronto tra gli elaborati d'archivio e le piante estratte dal modello Scan-to-BIM è stato condotto assumendo come riferimento la maglia strutturale dell'edificio, identificata dagli assi dei pilastri a sezione circolare, che costituisce l'elemento metrico più stabile e verificabile tra le due fonti.

UNIVERSITÀ DI PAVIA

UNIVERSITÀ DI PAVIA
INGEGNERIA
EDILE ARCHITETTURA
LABORATORIO TESI

DADA LAB
DRAWING ARCHITECTURE DOCUMENTATION

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ACHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Relatore:
Prof.ssa Francesca Picchio

Correlatore:
Dott.ssa Silvia La Placa

Laureanda:
Laura Galesio

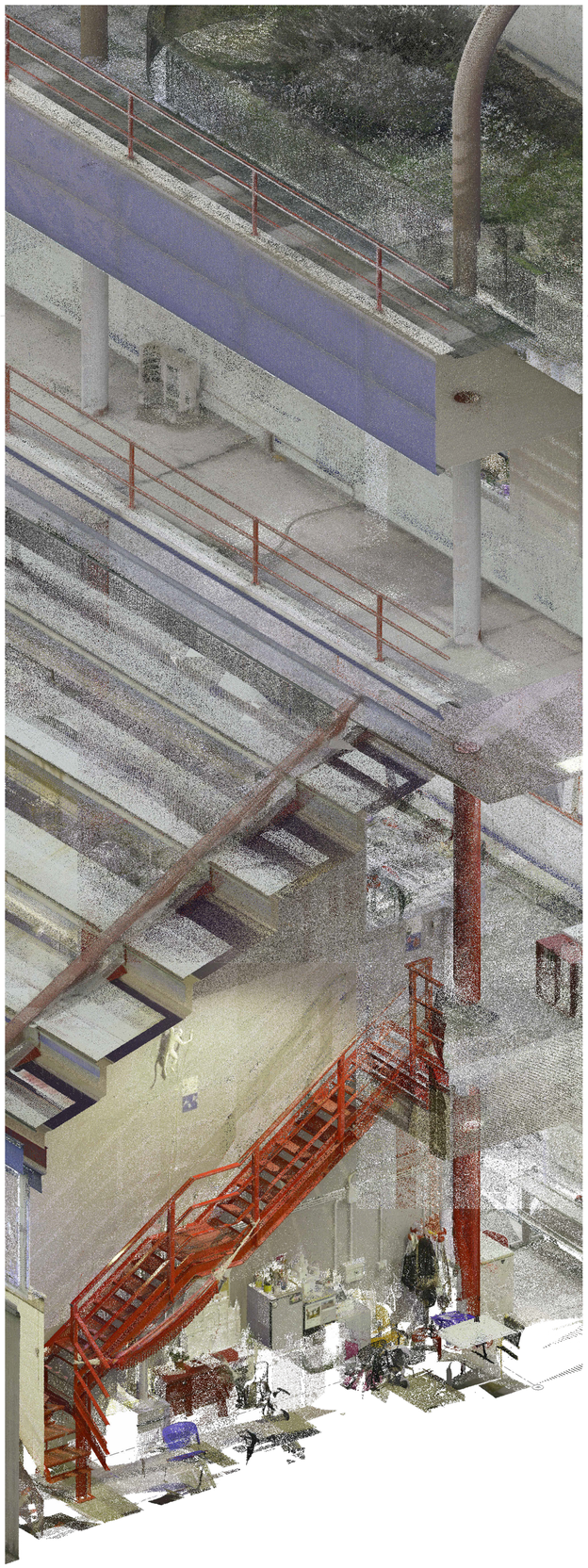
METODOLOGIA SCAN TO BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO

Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia

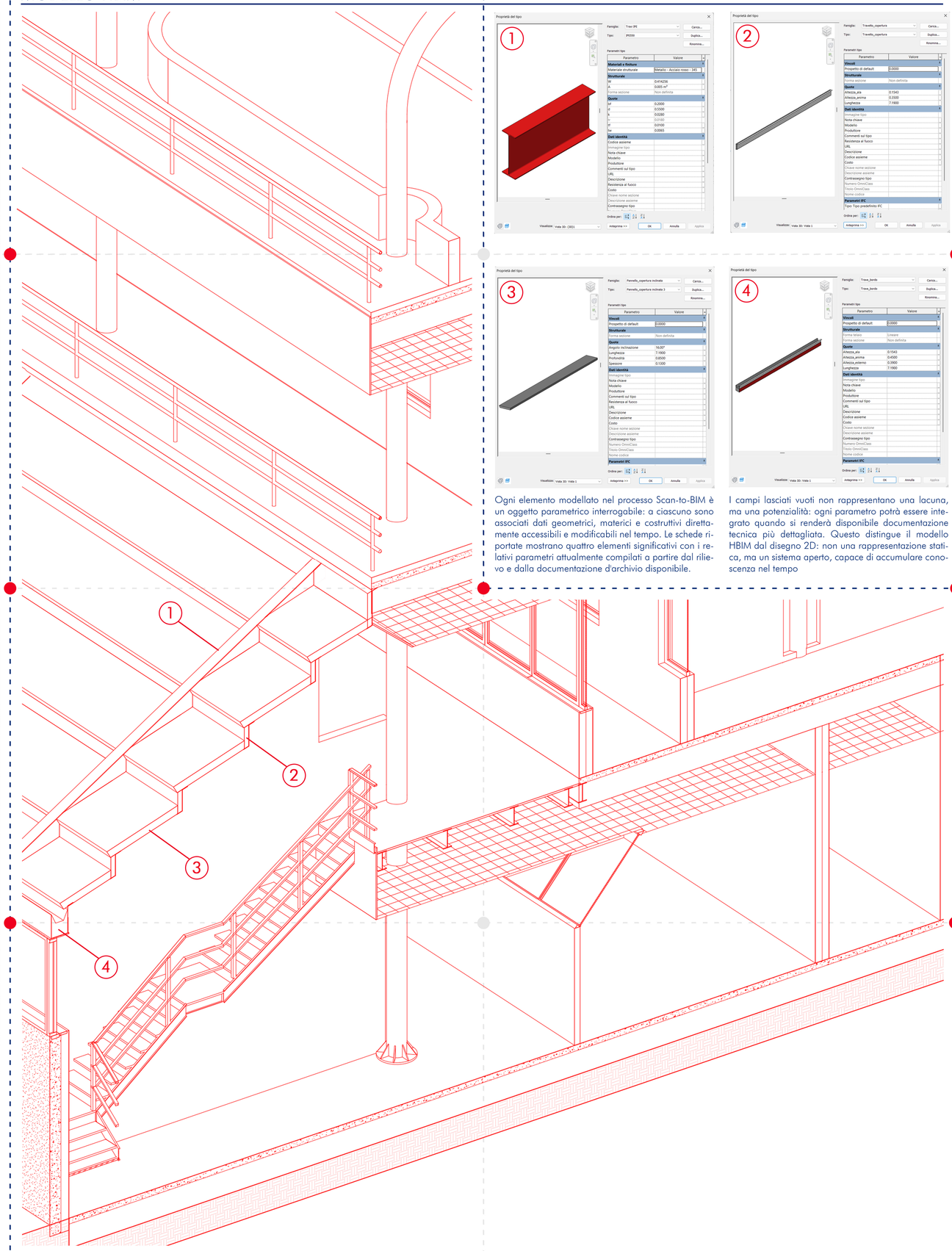
Confronto tra documenti d'archivio e stato di fatto

CONFRONTO

NUVOLA DI PUNTI



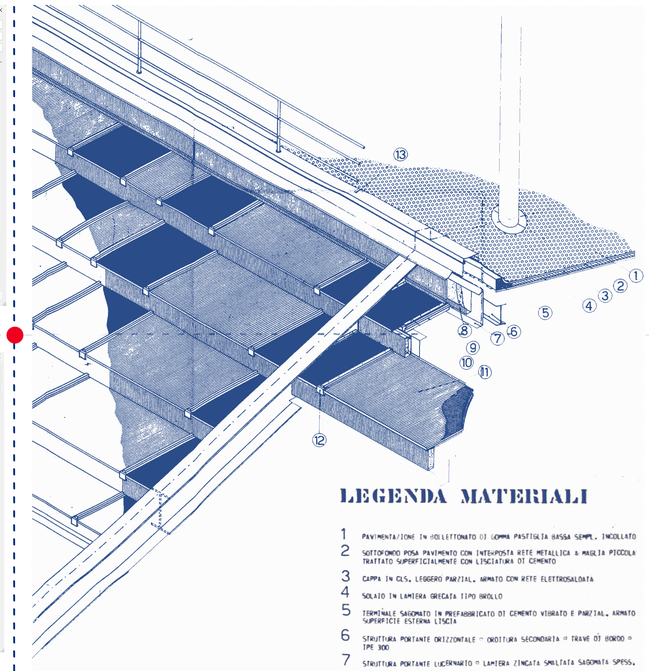
MODELLO HBIM



Ogni elemento modellato nel processo Scan-to-BIM è un oggetto parametrico interrogabile: a ciascuno sono associati dati geometrici, materici e costruttivi direttamente accessibili e modificabili nel tempo. Le schede riportate mostrano quattro elementi significativi con i relativi parametri attualmente compilati a partire dal rilievo e dalla documentazione d'archivio disponibile.

I campi lasciati vuoti non rappresentano una lacuna, ma una potenzialità: ogni parametro potrà essere integrato quando si renderà disponibile documentazione tecnica più dettagliata. Questo distingue il modello HBIM dal disegno 2D: non una rappresentazione statica, ma un sistema aperto, capace di accumulare conoscenza nel tempo

ARCHIVIO



LEGENDA MATERIALI

1 PAVIMENTA/IONE IN AGGLETTONATO DI GOMMA PASTIGLIA BASSA SEMPL. INCOLLATO
2 SOTTOFONDO POSA PAVIMENTO CON INTERPOSTA RETE METALLICA A MAGLIA PICCOLA TRATTATO SUPERFICIALMENTE CON LISCIATURA DI CEMENTO
3 CAPPA IN CLS, LEGGERO PARZIAL. ARMATO CON RETE ELETTROSALDATA
4 SOLAIO IN LAMIERA GRECATA TIPO GRIGLIO
5 TERMINALE SAGOMATO IN PREFABBRICATO DI CEMENTO VIBRATO E PARZIAL. ARMATO SUPERFICIE ESTERNA LISCIA
6 STRUTTURA PORTANTE ORIZZONTALE = ORDITURA SECONDARIA = TRAVE DI BORDO = IPE 300
7 STRUTTURA PORTANTE LUCERNARIO = LAMIERA ZINCATA SMALTATA SAGOMATA SPESS.
8 PANNELLI CLIMATICI ORIZZONTALE LAMIERA ZINCATA PIANA SMALTATA CON DOPPIO STRATO DI RESINE FENOLICHE ESPANSE E CAMERA D'ARIA INTERPOSTA
9 PROFILO PORTAVETRO TIPO ILFER
10 VETRO DOPPIO COMPOSTO DA UN CRISTALLO TEMPERATO E UN CRISTALLO STRATIFICATO CON INTERPOSTA CAMERA D'ARIA
11 PANNELLO IN LAMIERA ZINCATA PIANA SMALTATA CON DOPPIO STRATO RESINE FENOLICHE ESPANSE E CAMERA D'ARIA INTERPOSTA
12 TERMINALE CHIUSURA TESTATE DEI PROFILATI ILFER

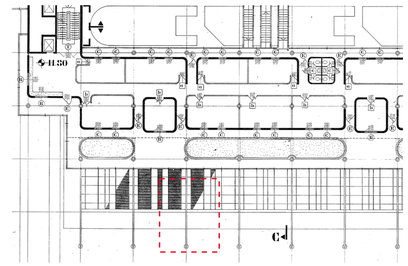
La lettura ravvicinata di un elemento architettonico significativo consente di mettere a confronto i tre livelli di restituzione adottati nel processo Scan-to-BIM: la nuvola di punti, il modello parametrico e il disegno d'archivio originale.
La nuvola di punti restituisce la condizione reale dell'elemento, con le sue imperfezioni metriche e le trasformazioni accumulate nel tempo. Il modello BIM ne offre una lettura interpretata e parametrizzata, in cui la geometria è ricondotta a un sistema coerente di famiglie e relazioni. Il disegno d'archivio di De Carlo, infine, rappresenta l'intenzione progettuale originaria, il riferimento a partire dal quale è possibile valutare scostamenti e fedeltà costruttiva.

DISEGNI D'ARCHIVIO

NUVOLA DI PUNTI

MODELLO HBIM

AREA OGGETTO DELLA VISTA ASSONOMETRICA:



UNIVERSITÀ DI PAVIA
UNIVERSITÀ DI PAVIA
INGEGNERIA
EDILE ARCHITETTURA
LABORATORIO TESI
DADA LAB
DRAWING ARCHITECTURE DOCUMENTATION

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ACHITETTURA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Relatore:
Prof.ssa Francesca Picchio

Correlatore:
Dott.ssa Silvia La Placa

Laureanda:
Laura Galesio

METODOLOGIA SCAN TO BIM A SUPPORTO DI INTERVENTI SUL PATRIMONIO

Verso una parametrizzazione del progetto di De Carlo a Pavia