POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura Costruzione Città

Tesi di Laurea Magistrale

Processi e metodologie SCANtoBIM per la gestione dei dati del patrimonio edilizio esistente

Caso studio: Centrale in copertura
Torre Regione Piemonte

Relatore: Prof. Anna Osello

Correlatori: Prof. Filiberto Chiabrando
Ing. Matteo Del Giudice

Candidate: Milena Di Chiara
Martina Di Gloria

In the last ten years, one of the most recent technologies introduced in the construction industry is Building Information Modeling (BIM). If the first approaches to BIM were mainly addressed to designers, focusing on the advantages in the design phase, recently the most mature applications arise from careful evaluations on the benefits, also economic, that can be obtained in the use and management phase of the built, defined as Facility Management (FM).
In fact, many studies attribute the greatest advantage in the use of BIM to the management of the building.

In order to obtain maximum benefits, it is essential to create a 3D model of the existing building. New advanced survey technologies, such as 3D laser scanning, are one of the most beneficial tools to meet this challenge. The process defined as Scan-to-BIM was created with the aim to transfer reality-based information within BIM systems while preserving the main physical characteristics and ensuring more reliable control through the returned digital model. Recently many researches have studied techniques and tools to convert the acquired data through scans (point clouds) into BIM objects. Despite this, to date the entire automation process is still a little-known and in-depth topic.

Starting from these assumptions, the aim of the thesis is to highlight the positive and negative factors, in terms of performance, for future developments of BIM-Oriented process. The as-built BIM modeling developed and implemented with the automated recognition process was tested in the case study Tower of the Piedmont Region.

ABSTRACT

Negli ultimi dieci anni, una delle più recenti metodologia introdotte nell'industria delle costruzioni è il *Building Information Modelling*. Se i primi approcci al BIM si sono rivolti principalmente ai progettisti, focalizzandosi sui vantaggi in fase progettuale, recentemente le applicazioni più mature nascono da attente valutazioni sui benefici, anche economici, che si possono ottenere nella fase di uso e gestione del costruito, definita come *Facility Management*.
Molti studi attribuiscono, infatti, alla fase di gestione del bene edilizio il maggior vantaggio nell'uso del BIM.

Al fine di ottenere i massimi benefici, è essenziale creare un modello 3D dell'edificio esistente. Le nuove tecnologie di rilevamento avanzato, come la scansione laser 3D, sono uno degli strumenti più vantaggiosi per rispondere a questa sfida. Il processo definito *SCANtoBIM* nasce con l'obiettivo di trasferire all'interno dei sistemi BIM informazioni *reality-based* conservandone le principali caratteristiche fisiche e garantendo un controllo più attendibile tramite il modello digitale restituito. Recentemente molte ricerche hanno studiato le tecniche e gli strumenti per convertire i dati acquisiti tramite le scansioni -nuvole di punti- in oggetti BIM.
Nonostante questo, ad oggi l'intero processo di automatizzazione è oggetto di studio da parte della comunità scientifica.

Partendo da questi presupposti, l'obiettivo della tesi è sottolineare i fattori positivi e negativi, in termini di performance, per gli sviluppi futuri del processo *BIM-Oriented*. La modellazione BIM *as built*, sviluppata e implementata con il processo di riconoscimento automatizzato è stata sperimentata nel caso studio, Torre della Regione Piemonte.

INDICE

INDICE ACRONIMI

1. INTRODUZIONE **11**

1.1 IL PROCESSO *BIM-ORIENTED* APPLICATO AL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE **12**

1.1.1 Gestione dati 17

1.1.2 Dicotomia modello *"as built"/"as is"* 20

1.1.3 Vantaggi 21

1.2 PROCEDURE *SCANtoBIM*: Modello BIM *reality-based* 23

1.2.1 Da oggetti reali a modelli "intelligenti" 24

1.2.2 Adozione e sviluppo 25

1.3 CASO STUDIO: TORRE REGIONE PIEMONTE 29

1.3.1 Inquadramento territoriale 29

1.3.2 Descrizione dell'insediamento 30

1.3.3 Torre: Centrale in copertura 31

1.4 OBIETTIVI 33

2. METODOLOGIA **37**

2.1 ACQUISIZIONE DATI 41

2.1.1 Raccolta documenti 41

2.1.2 Rilievo diretto 43

2.1.3 Rilievo metrico integrato 3D 44

Sistemi a scansione laser terrestre

Mobile mapping Systems

2.1.4 Dal rilievo alla nuvola di punti 50

Pianificazione del rilievo

Metodo 1: Laser scanner Focus3D di FAROCAM

Metodo 2: Laser scanner mobile ZEB-REVO di GeoSLAM

Integrazione delle nuvole di punti

2.2 RESTITUZIONE DATI: dalla nuvola di punti alla modellazione BIM 83

2.2.1 Gestione integrata 84

2.2.2 BIM e condivisione 86

Creazione e organizzazione del CDE

Struttura e gestione dei modelli

2.2.3 Linea guida e panorama normativo 96

Definizione LOD

Categorie di modello, famiglie, tipi, istanze

Codifica famiglie e tipi

Acquisizione parametri condivisi

2.2.4 Modellazione BIM 107

Criteri di modellazione e affidabilità

Applicazione *SCANtoBIM* Procedure

Modello Strutturale

Modello Architettonico

Modello MEP

3. RISULTATI **131**

3.1 VALIDAZIONE DATI: *as built/as is* 133

3.1.1 Sovrapposizione dati *input* 138

3.1.2 Analisi modelli BIM e nuvole di punti 138

3.1.3 Modello *as built* vs modello *as is* 142

3.2 RISULTATI GENERALI: Processi, Metodi e Strumenti 143

3.2.1 Dal Rilievo 144

3.2.3 Dal Modello 145

4. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI **147**

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

INDICE DEGLI ACRONIMI

2D_Due dimensioni

3D_Tre dimensioni

4D_Quattro dimensioni

ACDat_Ambiente di Condivisione Dati

AEC_Architecture, Engineering and Construction

AIM_Asset Information Model

BIM_Building Information Modeling

CAD_Computer Added Drawing

CDE_Common Data Environment

CMMS_Computerized Maintenance Management System

COBie_Construction Operations Building Information Exchange

DL_Direzione Lavori

DM_Decreto Ministeriale

EIR_Employers Information Requirements

FM_Facility Management

GIS_Geographical Information System

HVAC_Heating, Ventilation and Air Conditioning

IFC_Industry Foundation Classes

LOA_Level of Accuracy

LOD_Level of Development

LOI_Level of Information

LOG_Level of Geometry

MEP_Mechanical Electrical and Plumbing

MMS_Mobile Mapping System

OIR_Organizational Information Requirements

PIM_Project Information Model

ROI_Return On Investment

SLAM_Simultaneous Localization and Mapping

UTA_Unità di Trattamento Aria

WIP_Work In Progress

INTRODUZIONE

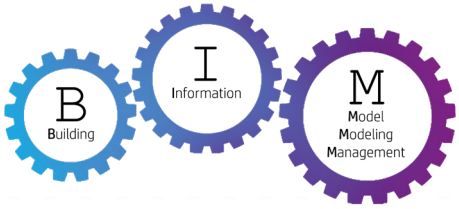
Il seguente capitolo introduce i principali concetti riferiti all'uso della metodologia BIM applicata al patrimonio edilizio esistente. Si illustra in breve il significato del concetto di BIM, l'ambito di applicazione riferito al settore del Facility Managemet e i suoi principali vantaggi.
Dopo aver introdotto queste prime specifiche si descrive in breve lo stato dell'arte riferito alle procedure SCANtoBIM, oggetto di approfondimento in questa tesi. Si sottolinea già in partenza l'importanza di un buon metodo seguito sin dalle prime fasi del rilievo digitale.
Infine, si descrive il caso studio limitato alla porzione di edificio collocata in copertura in corrispondenza della centrale di gestione della rete impiantistica dell'edificio. Si mettono in evidenza gli obiettivi da raggiungere durante la ricerca svolta.

1.1 IL PROCESSO BIM-ORIENTED APPLICATO AL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE

Il processo BIM definisce il nuovo modo di pensare l'edilizia, in questo senso si sta attuando un vero e proprio cambiamento nel concepire le procedure tradizionali di lavoro sin dalle prime fasi della progettazione.

Si tratta di una vera e propria rivoluzione metodologico-progettuale che vuole passare dalla semplice rappresentazione bidimensionale alla più complessa definizione dei singoli elementi architettonici attraverso un approccio di tipo parametrico. In riferimento al settore delle costruzioni è conosciuto con il termine BIM - *Building Information Modelling*.

DEFINIZIONE E SIGNIFICATO



"*Il BIM non è né una cosa né un tipo di software, ma è un attività umana che coinvolge, in ultima analisi, ampie modifiche dei processi nel settore delle costruzioni…*" [1]

Partendo da questa definizione, per comprendere al meglio cosa si intende con l'acronimo BIM, si fa riferimento all'approccio NBIMS – *National Building Information Modeling Standard* – che lo classifica in tre modi:

- Come prodotto –*Model*
- Come processo di collaborazione –*Modeling*
- Come requisito per la gestione del ciclo di vita di un edficio *Management* [2]

In riferimento alla seguente classificazione si sottolinea come il termine spesso utilizzato con valore univoco, contenga in realtà un'estensione più ampia del suo significato.

Il modello BIM è la sintesi digitale di tutte le componenti edilizie che costituiscono l'edificio nella realtà, a cui vengono associate non solo informazioni riferite alla loro geometria e alle caratteristiche fisiche, ma anche alle proprietà funzionali e descrittive. Per processo BIM s'intende il flusso di lavoro come metodo per la creazione, la gestione, la condivisione, la comunicazione e l'analisi delle informazioni di modelli digitali e parametrici legati all'ambito dell'edilizia nel settore AEC – *Architecture, Engineering and Construction*.

[1] Definizione di BIM
C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobilieari e imprese.* A cura di G.M. Di Giuda e V. Villa, Milano: Hoepli Editore, 2016.

[2] Classificazione del concetto di BIM
C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese.* A cura di G.M. Di Giuda e V. Villa, Milano: Hoepli Editore, 2016.

Infine, il BIM inteso come sistema di gestione delle informazioni, requisito fondamentale durante tutta la vita di un edificio per aumentare l'efficienza e la produttività in riferimento alle maggiori esigenze che si sviluppano in modo sempre più complesso e dinamico nell'ambito delle costruzioni.

Il suo valore aggiunto è rappresentato dagli aspetti di digitalizzazione e gestione condivisa delle informazioni, attraverso cui è possibile operare su un'unica base dati. Si parla di un modello informativo intelligente, riferito a un singolo oggetto o a un intero organismo edilizio, che contiene al suo interno dati non più solo spaziali e geometrici ma anche qualitativi. In questo contesto, il concetto di visualizzazione tridimensionale e il concetto di conoscenza informativa si fondono nel principio della modellazione parametrica BIM, in cui ogni oggetto è caratterizzato da un contenuto informativo interscambiabile tra i vari soggetti coinvolti.

La condivisione delle informazioni e l'ambiente di lavoro collaborativo costituiscono il fulcro attorno al quale ruota il processo BIM, passando così da uno sviluppo a sequenza lineare, basato su correzioni e integrazioni, ad uno sviluppo circolare e simultaneo.

Se il processo tradizionale, rappresentato dagli strumenti CAD, restituisce un prodotto costituito da elementi indipendenti che possono raggiungere un grado di dettaglio molto accurato, il processo di modellazione BIM permette di raggiungere un risultato integrato in cui ogni singolo elemento del modello 3D è strettamente legato l'uno all'altro da proprietà e relazioni geometriche specifiche. La differenza sostanziale si identifica, dunque, nella possibilità di gestire i rapporti tra le informazioni del progetto stesso, secondo un processo iterativo, in cui tutto può essere modificato e aggiornato in modo automatico e in tempo reale.

In questo senso l'obiettivo ultimo della metodologia BIM è quello di dare soluzioni legate alla digitalizzazione delle informazioni riducendo sempre di più l'incoerenza, l'ambiguità e la perdita dei dati fino alla totale trasformazione del flusso di coordinamento trasversale a tutte le discipline.

ADOZIONE E SVILUPPO

Lo schema rappresenta la progressiva ottimizzazione del settore delle costruzioni nella direzione di un ambiente "*BIM Oriented*", che nell'ottica di uno sviluppo progettuale più sostenibile, si pone come obiettivo finale il raggiungimento di un settore AEC completamente BIM. A questo proposito è possibile descrivere il grado di adozione e i livelli di sviluppo del BIM secondo 4 livelli di maturità:

- Livello 0
  Si riferisce al punto di partenza rappresentato dalla sola documentazione bidimensionale, generalmente elaborata attraverso l'uso di programmi 2D CAD. Si tratta, dunque, della progressiva sostituzione dell'informazione cartacea, prodotta dal disegno a mano, con gli elaborati grafici digitali. Anche in questo caso, però, la trasmissione su carta comporta l'ampio svantaggio di questo livello: una scarsa e limitata collaborazione tra i vari attori coinvolti.

- Livello 1
  A differenza del precedente, questo livello è caratterizzato dalla presenza di modelli 3D, come sola verifica e restituzione grafica dei disegni 2D. In questo caso si arriva alle prime fasi di trasmissione dei dati e dell'informazione in forma digitale, tramite viste tridimensionali e render realistici, e in modo gerarchico grazie alla definizione di un *Common Data Enviroment*.

- Livello 2
  Si introduce il concetto di condivisione e collaborazione tra le varie parti e discipline in riferimento alla creazione di modelli BIM "intelligenti", che mettono in relazioni dati geometrici e alfanumerici. La condivisione delle informazioni e il loro costante aggiornamento è possibile grazie alla presenza di formati di file interoperabili – IFC o COBie. Questo livello riguarda principalmente le applicazioni BIM relative alle fasi di progettazione e costruzione, soprattutto per interventi pubblici.

- Livello 3
  Ancora in fase di definizione, questo livello prevede la creazione di modelli centralizzati accessibili a tutti gli attori durante tutte le fasi del ciclo di vita di un edificio. Una vera e propria piattaforma BIM, a definizione di ambienti totalmente collaborativi, per una condivisione delle informazioni più dinamica e immediata. Questo livello, ancora sperimentale, è strettamente legato ai vantaggi apportati alle fasi di gestione e manutenzione del bene.

CONTESTO E AMBITO APPLICATIVO

Lo scenario attuale di sviluppo e di ricerca per l'applicazione dei processi BIM sta dirigendo sempre più la sua attenzione verso il patrimonio edilizio esistente, partendo dagli edifici di carattere storico fino a quelli di recente costruzione.A tal proposito il BIM inteso come processo costituisce l'opportunità, non più per la sola progettazione dei nuovi complessi edilizi, ma anche per la restituzione di modelli tridimensionali della realtà. La premessa per creare un modello il più coerente possibile con quanto descritto nell'ambiente reale è la conoscenza.

In generale però, tutta l'informazione che riguarda gli edifici esistenti è spesso frammentata e incongruente a causa dei metodi tradizionali di raccolta dati, in cui ogni documento, cartaceo o in formato digitale, parla per sé. Un sistema difficile da gestire che restituisce spesso dati non aggiornati, poco affidabili e ambigui.
In questo caso, la sfida è duplice perché il BIM diviene uno strumento d'implementazione di procedure e sistemi di gestione già avviate e consolidate. Si tratta di un nuovo tipo di approccio che permette di integrare alle potenzialità della metodologia e dei *software BIM-Oriented* nuove tecnologie di raccolta dati attraverso tecniche di rilievo digitale, dalla fotogrammetria alle più recenti tecniche di scansione laser.

Inizialmente si parlava di finalità rivolte ai soli aspetti di salvaguardia della documentazione storica, oggi, invece si pensa alla creazione di modelli sempre più verosimili per ottimizzare e minimizzare le problematiche durante la fase di uso e gestione del costruito a partire dalle operazioni di manutenzione fino alla progettazione futura. Se i primi approcci al BIM si sono rivolti principalmente ai progettisti, focalizzandosi sui vantaggi in fase progettuale, recentemente le applicazioni più mature nascono da attente valutazioni sui benefici, anche economici, che si possono ottenere nella fase di uso e gestione del costruito.
La fase di gestione e mantenimento di un edificio occupa circa il 90% del costo ciclo di vita totale di un edificio. Il risparmio in questo caso avviene in termini di tempo e denaro. Dal 1990 con l'introduzione della gestione come metodologia, ha stabilito la necessità di definire una disciplina separata per la gestione degli edifici, chiamata *Facility Management*.

Sin dalla fase di utilizzo è la fase più lunga del ciclo di vita di un edificio e occupa la porzione più grande del costo del ciclo di vita di un edificio, l'uso di tecnologie avanzate in questa fase per aumentare la crescita dell'efficienza del FM è diventata si sta diffondendo negli ultimi anni.

Il *FM* presuppone l'integrazione di una serie di attività di carattere gestionale che necessitano di una grande quantità di informazioni,

molto diverse tra loro, che devono poter essere gestite con una tecnologia che consenta di mettere a confronto i dati complessi che riguardano non solo il singolo edificio, ma anche parti essi.

1.1.1 Gestione dati

In quest'ottica di cambiamento, *Billar Succar* - Università di Melbourne - arriva a proporre una nuova interpretazione dell'acronimo BIM scambiando la posizione delle lettere: BIM diventa *Modelling Information – to manage and maintain – a Building*, ossia modellare le informazioni per gestire gli edifici. I modelli gestionali BIM diventano sempre più lo strumento per apportare significativi vantaggi alla committenza, aumentando la consapevolezza dei processi e della consistenza dei dati in suo possesso. Molti studi attribuiscono, infatti, il maggior vantaggio nell'uso del BIM nella fase di gestione del bene edilizio attribuita al settore del *Facility Management*, ossia l'insieme delle operazioni di manutenzione e delle procedure di gestione e monitoraggio dei manufatti edilizi esistenti.

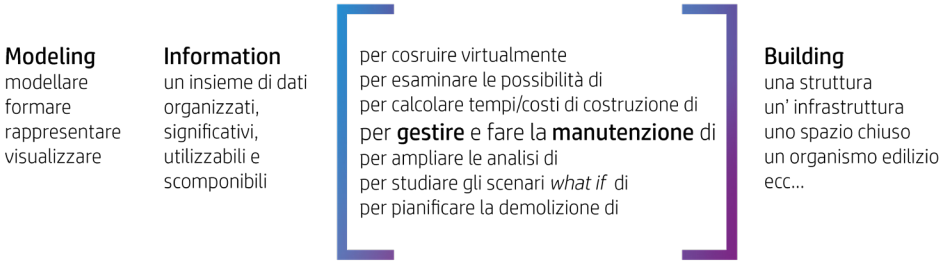


Fig. 1
Modelling Information a building
http://wwwibimi.it/lezione-1-introduzione-al-bim

Il termine "*Information*", posto al centro dell'acronimo BIM quasi a sottolinearne la sua importanza, indica l'insieme di dati di diversa natura organizzati che descrivono un'opera edilizia. La loro conoscenza e la loro gestione sono alla base dell'intero processo edilizio.

"Gli ambiti della gestione e della manutenzione sono interessati dalla domanda sempre crescente di strumenti operativi per il miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia dei processi. In questo scenario si configura come centrale il tema del trattamento dei dati e delle informazioni inerenti agli organismi urbani edilizi. In particolare, solo attraverso un utilizzo integrato degli stessi è possibile strutturare correttamente il flusso delle informazioni in modo che vengano introdotte una sola volta all'interno del processo ed eventualmente implementate nel corso del tempo." [3]

[3] La gestione dei dati per il FM
A. Acquaviva, A. Osello. *Building Information Modeling, Georaphic Information System, Augmented Reality per il Facility Management.* Palermo: D. Flaccovio Editore, 2015.

Nel caso specifico si fa riferimento all'implementazione del BIM durante la fase di messa in esercizio dell'opera volta a gettare le basi per le future operazioni di FM. L'obiettivo ultimo di questo approccio è la creazione di un sistema coordinato e interattivo di condivisione delle informazioni. La volontà è quella di creare una piattaforma

informativa che metta a sistema tutti i dati, offrendo una struttura univoca in cui inserirli e da cui estrarli:
"un database centrale contenente la documentazione as built e le informazioni di manutenzione facilmente accessibile (in cantiere), di facile gestione e collegato a un modello 3D per una migliore visualizzazione".[4]

A oggi la complessità gestionale di dati eterogenei per la creazione di un modello BIM *as built*, come già anticipato in precedenza, rimane uno dei problemi principali in ambito edilizio. Questa criticità è principalmente dovuta all'ancora attuale utilizzo di procedure di trasmissione basate sulla metodologia tradizionale non in grado di cerare un sistema di comunicazione e interazione tra i soggetti coinvolti.

L'ambiente di lavoro individuale e frammentato è la diretta conseguenza di una progressiva perdita di dati durante l'intero ciclo di vita di un manufatto. A questo proposito viene di seguito riportata graficamente l'attuale andamento del flusso informativo durante il ciclo di vita di un edificio.

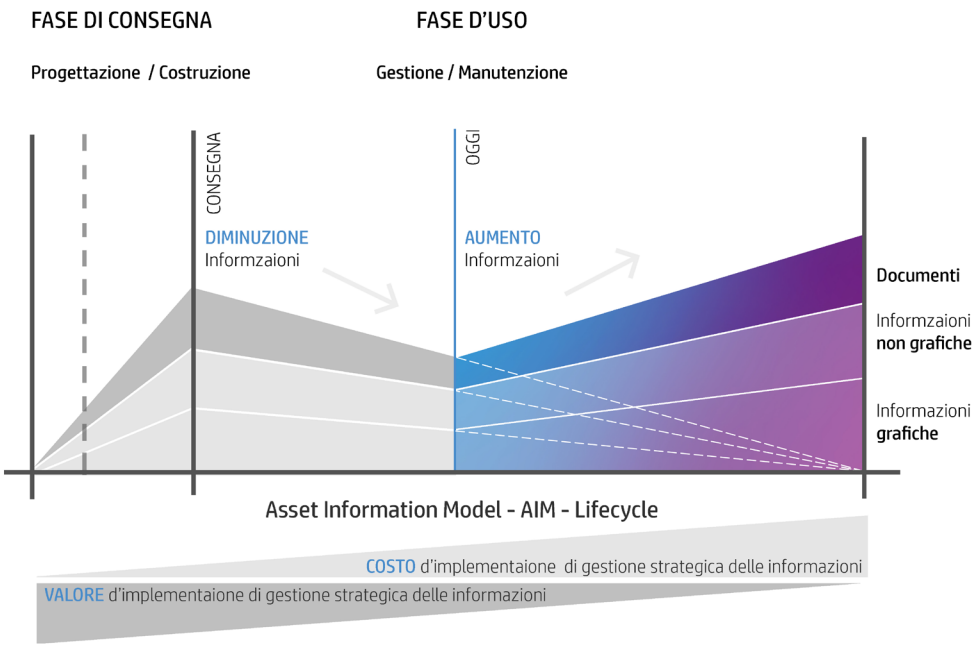


Fig. 2
Flusso informativo del life cycle di un edificio

Facendo riferimento alla gestione avanzata dei dati con il BIM sin dalle prime fasi, la conoscenza del bene tende a crescere in rapporto allo sviluppo dell'iter progettuale. Al contrario, con i metodi di gestione tradizionali è evidente come la più alta quantità di dati raggiunta in corrispondenza alla fase di consegna del bene, venga poi caratterizzata da una progressiva diminuzione durante la fase di uso. Oggi si cerca di far fronte a questo tipo di problema, riscontrabile nella maggior parte delle costruzioni, attraverso la ricostruzione in modo sistematico del flusso informativo.

[4] La gestione dati FM. A. Acquaviva, A. Osello. *Building Information Modeling, Georaphic Information System, Augmented Reality per il FM.* Palermo: D. Flaccovio Editore, 2015.

Per rendere gestibile la grande mole di dati generati a partire dalle fasi di progettazione e costruzione e durante l'intero ciclo di vita di un edificio significa porre rimedio ad un panorama informativo spesso caratterizzato dalla non completezza e non adeguatezza degli elaborati.

Di seguito l'elenco delle principali cause:

- la mancanza di standard condivisi per lo scambio di informazioni tra i diversi attori coinvolti nel processo edilizio;
- lo scarso coordinamento tra le diverse applicazioni *software* non ottimizzate sulla necessità di dialogare in maniera automatica ed "intelligente" senza perdita di informazioni;
- la mancanza di sicurezza nelle operazioni di interscambio dei dati;
- la necessità di continue e ripetitive operazioni di *input* degli stessi dati da parte dei diversi professionisti, con conseguenti perdite di tempo e possibilità di introduzioni di errori;
- la ridondanza di informazioni che spesso descrivono lo stesso elemento/contenuto. [5]

[5] La gestione dei dati per il FM.
A. Acquaviva, A. Osello. *Building Information Modeling, Georaphic Information System, Augmented Reality per il Facility Management.* Palermo: D. Flaccovio Editore, 2015.

Per far fronte a questi problemi e garantire il passaggio dalla complessità della realtà alla semplificazione e interpretazione della modellazione è necessario integrare alla prima attività di raccolta dati con un rilievo geometrico dell'esistente mirato alla verifica e all'aggiornamento del dato dimensionale.

In questo modo la gestione dei dati per il patrimonio edilizio esistente segue un processo integrato in grado di offrire notevoli vantaggi per la generazione di modelli *as built* caratterizzati da una sempre maggiore affidabilità e univocità dei dati. L'evoluzione di nuove tecnologie per il rilievo digitale ad alta risoluzione e i *software* di gestione ed elaborazione dei dati acquisiti per la restituzione di nuvole di punti, sostengono sempre più l'approccio *BIM-Oriented*, che permette di confrontare e filtrare le informazioni in un unico ambiente di lavoro. Si tratta, dunque, di una gestione dati integrata che prevede la sovrapposizione della documentazione d'archivio 2D e le nuvole di punti 3D per individuarne le informazioni utili alla restituzione del modello in base alla sua finalità.

Il fine di creare un modello BIM per il *Facility Management* è quello di coordinare le informazioni, *as built* ed *as is*, ottenute e trasferite dalle fasi di progettazione e costruzione, alle fasi di gestione e manutenzione. In questo modo è possibile automatizzare la generazione di abachi contenenti liste di tutti i componenti e interagire con applicativi a supporto di un sistema computerizzato della gestione della manutenzione - *Computerized Maintenance Management System* - permettendo di avere sempre sotto controllo il piano degli interventi ottimizzando tempi e costi di gestione.

1.1.2 Dicotomia modello *"as built" / "as is"*

Il termine *as built*, la cui traduzione letterale è "come costruito", si riferisce comunemente alla documentazione che descrive un'opera edilizia per come risulta realmente costruita. Questo tipo di documentazione viene redatta al completamento della fase di cantiere perché ha la finalità principale di riportare tutte le modifiche progettuali effettuate in corso d'opera e/o tracciare ogni genere di difformità tra il progetto originale e il prodotto realizzato.

La documentazione *as built* di tipo tradizionale coincide ai disegni CAD 2D che costituiscono, dunque, l'archivio finale di progetto contenente i dati più aggiornati, base per la creazione del modello BIM utile alla corretta attuazione degli interventi di gestione e manutenzione futuri. In questa fase il livello di dettaglio del contenuto informativo, in grado di esaurire tutti gli obiettivi per un'efficace gestione, corrisponde al LOD 500 che, come nel caso precedente dei disegni bidimensionali, deve mostrare il progetto così come è stato realizzato. Il termine *as is* – la cui traduzione letterale "come è" – viene utilizzato per indicare lo stato di fatto reale dell'immobile. Secondo quanto detto in precedenza, i due termini anche se distinti dovrebbero avere la stessa valenza in termini di risultato finale. Il modello *as built* dovrebbe essere un modello *as is*.

Risulta evidente però, che la necessità di introdurre il termine *as is* implica la presenta di una motivazione sostanziale che differenzia il loro utilizzo in riferimento a due contesti separati. Purtroppo, i documenti *as built* non restituiscono mai il modello *as is* questo è dovuto alla perdita di dati, conseguenza diretta del processo edilizio stesso. Sostanzialmente quando l'opera viene costruita incorre a svariate modifiche derivate tipicamente da esigenze di cantiere, che deve cercare di rispettare il più possibile le tempistiche evitando ritardi di realizzazione. Molto spesso però risulta difficile ottenere un perfetto trasferimento di tutte le variazioni effettuate durante la costruzione all'interno dei disegni di archivio. Infatti, nella maggior parte dei casi, non essendo presente un'esplicita richiesta da parte del committente questa pratica viene trascurata o totalmente ignorata.

Per questi motivi nasce la necessità di aggiornare l'informazione e colmare l'assenza di dati relativi alla condizione effettiva dell'edificio. Le tecnologie di rilievo dalla fotogrammetria a quelle più avanzate a scansione laser sono lo strumento più vantaggioso per un'acquisizione dei dati più precisa e dettagliata. La dicitura *as is* rispecchia, come anticipato, le reali condizioni dell'opera esistente attraverso il prodotto dei risultati acquisiti: le nuvole di punti. Al fine di restituire un modello il più vicino possibile al contesto reale, i due termini vengono associati generando un modello BIM *as built/as is* integrato in cui le informazioni precedenti non sono cancellate e sostituite ma costantemente modificate e aggiornate. Questo al fine di garantire una maggiore qualità del modello restituito in termini di affidabilità.

1.1.3 Vantaggi

In riferimento alle premesse fatte, l'adozione del BIM crea opportunità di miglioramento e ottimizzazione del processo di modellazione per la restituzione digitale di un'opera edilizia. Nel caso specifico, l'attenzione è rivolta ai principali vantaggi nell'uso del BIM per il FM nella fase di gestione e manutenzione, la più lunga e costosa dell'intero processo.

"Nella tradizionale progettazione 2D il patrimonio d'informazioni va perdendo valore attraverso le varie fasi, si incorre in maggiori possibilità di commettere errori e omissioni ed è richiesto un maggiore sforzo per produrre informazioni precise sul progetto – come mostra lo schema concettuale. Di Conseguenza, analisi di questo genere non possono essere sincronizzate con le informazioni relative alla progettazione e quindi generano errori. Con i processi basati sul BIM il committente può realizzare un ROI – Return On Investment – più elevato, proprio per via della migliore integrazione del processo di progettazione: esso aumenta il valore delle informazioni di progetto in ogni fase e assicura che il team di progettazione lavori in condizioni di migliore efficienza e, allo stesso tempo, i committenti possono raccogliere dividendi in termini di qualità del progetto, costi e successiva messa in servizio della struttura." [6]

[6] Valore della documentazione per il Facility Management. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston. *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese.* A cura di G.M. Di Giuda e V. Villa, Milano: Hoepli Editore, 2016. P.165.

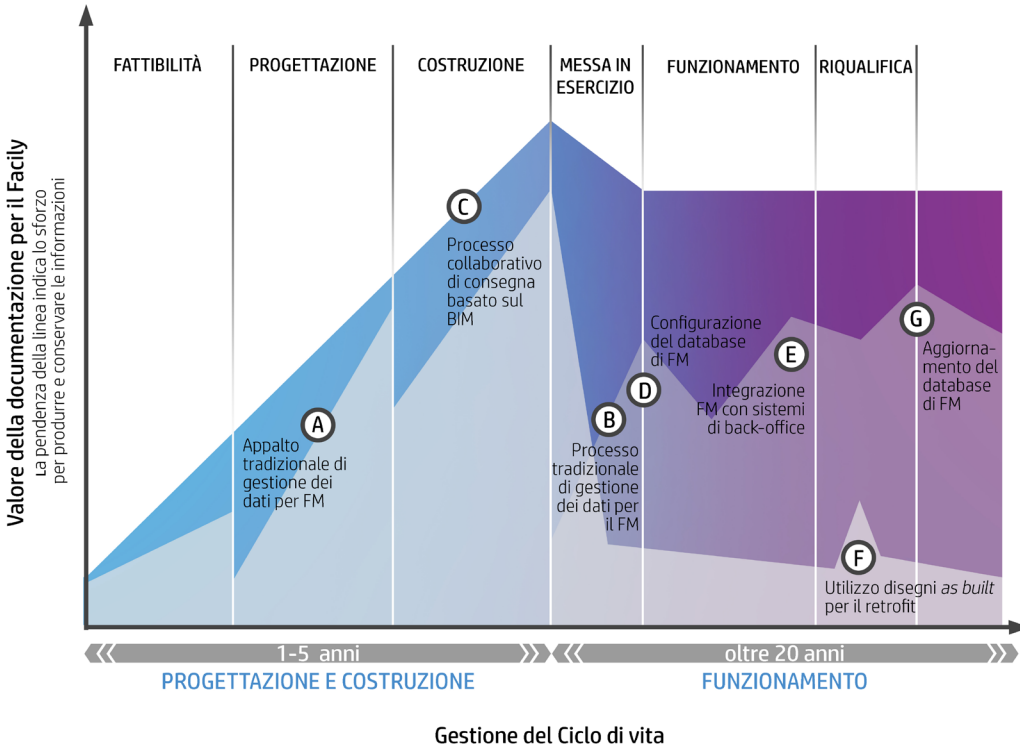


Fig. 3
Vantaggi adozione BIM fonte [6]

Vantaggi:
- Interoperabilità tra strumenti e operatori
- Miglioramento qualità delle informazioni in termini di affidabilità
- Gestione dei rischi
- Migliorare il ritorno dell'investimento di capitale

1.2 PROCEDURE SCANtoBIM: Modello BIM *reality-based*

La metodologia BIM nasce con l'intento di migliorare tutti i processi e le operazioni legate alla progettazione di nuovi edifici, al fine di migliorarne l'intero ciclo di vita. Comunemente questo presupposto spinge a pensare che il BIM non sia così efficiente anche nel caso di edifici esistenti, ma come accennato nei paragrafi precedenti se associato alle potenzialità delle nuove tecnologie di rilievo può apportare molteplici vantaggi.

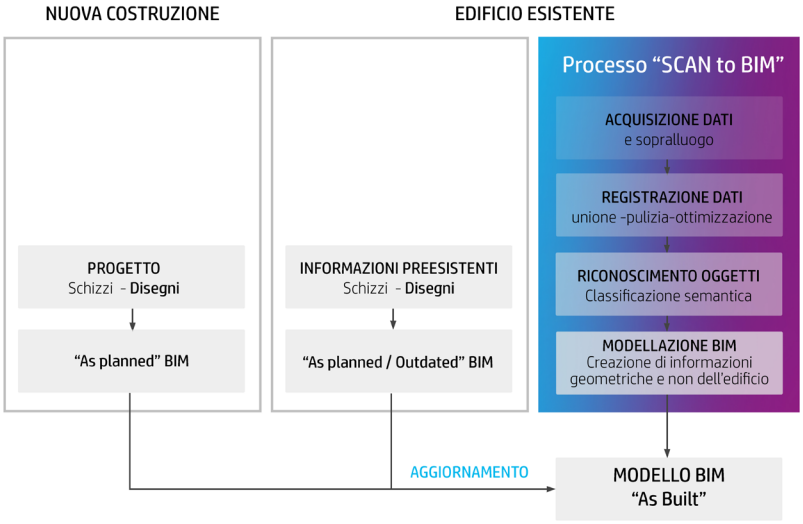


Fig. 4 **Processo SCANtoBIM** R. VOLK., J. Stengel, and F. Shultmann, *Bim for existing buildings, Literaturereview and future needs.Automation in construction, Vol.38: 109-127,2014*

Rispetto all'uso nella progettazione di nuovi edifici, il BIM applicato agli edifici esistenti determina uno sviluppo di processo inverso: il modello non descrive ciò che dovrà essere costruito, bensì ciò che già esiste. Diviene, dunque un prodotto a posteriori, che per essere generato si avvale di una fase preliminare di rilievo digitale.
Oggi, questo è possibile grazie all'evoluzione di nuove tecnologie di scansione ad alta risoluzione come gli strumenti laser scanner e lo sviluppo di *software* per l'elaborazione delle scansioni stesse. La loro restituzione avviene sotto forma di nuvole di punti, una rappresentazione tridimensionale accurata e completa dello spazio circostante.

In questo modo l'obiettivo diviene la restituzione di un modello della realtà, per trasmettere e comunicare il più alto grado di conoscenza di un organismo edilizio esistente. Questo avviene attraverso il processo *SCANtoBIM:* dove il punto di partenza è rappresentato dalla nuvola di punti e il punto di arrivo dal modello BIM *reality-based*. Un vero e proprio modello integrato, basato sullo stato di fatto effettivo dell'opera, capace di ridurre gli errori e colmare le mancanze dell'informazione *as built* di partenza.
Per rendere ancor più vantaggioso l'utilizzo di queste tecniche e ridurre gli aspetti negativi legati soprattutto alla lunga fase di restituzione dati e alle possibili imprecisioni in fase di modellazione,

si sta pensando sempre più a nuovi strumenti e procedure.
I *software* per la modellazione BIM sono sempre più diretti verso l'uso integrato di dati *input*, permettendo di acquisire le informazioni geometriche non più solo dai disegni CAD 2D ma anche dalle nuvole di punti 3D. Inoltre, per rendere ancora più veloce e automatizzato il processo durante la fase di modellazione, le ricerche più recenti hanno reso disponibili *software* e *plug-in* di ultima generazione per favorire la comunicazione tra gli applicativi BIM e le nuvole di punti. Le loro funzionalità avanzate permettono un'analisi e un riconoscimento automatico degli oggetti descritti dalla nuvola di punti.

1.2.1 Da oggetti reali a modelli "intelligenti"

L'oggetto reale è riferito al contesto esistente, ad un oggetto fisico spesso rappresentato dall'organismo edilizio stesso o dalle componenti che lo costituiscono. Nel caso del rilievo digitale l'intento è quello di riprodurre l'oggetto reale nel modo più fedele e accurato possibile, per questo è fondamentale individuare già in partenza la maggior parte di dati e d'informazioni da acquisire. Questo è determinato anche dal tipo di finalità del modello da ottenere. Si tratta, dunque dell'oggetto base sul quale si esegue il rilievo e da cui avrà vita l'oggetto digitale.

In questi termini l'oggetto digitale è l'esatta rappresentazione di ciò che è nella realtà, il valore aggiunto riguarda però il suo aspetto a livello complessivo. Esso, non rispecchia l'oggetto reale solo a livello geometrico e dimensionale ma contiene al suo interno molteplici informazioni che lo identificano anche qualitativamente. Dunque, si parla di "oggetto BIM" non solo come un mero contenitore di informazioni, ma se correttamente modellato, è anche in grado di relazionarsi con il modello complessivo, assolvendo alla sua funzione in coordinamento con gli altri oggetti.

L'unione dei singoli oggetti BIM genera un modello "intelligente" definito così perché può essere utilizzato come luogo di conoscenza in cui è possibile modificare, sostituire, aggiungere o estrarre informazioni in base alle esigenze e ai cambiamenti di un organismo edilizio. La differenza fondamentale che segna il passaggio tra l'oggetto esistente fino al modello intelligente è la possibilità di leggere e interpretare: l'oggetto reale trasmette solo l'informazione resa visibile, mentre l'oggetto BIM permette di arrivare ad un grado di conoscenza molto superiore. Infatti, la possibilità di interrogare gli oggetti estraendo i dati utili in base alle esigenze del momento, come accade per le fasi di gestione e manutenzione, diviene l'aspetto indispensabile per associare il termine "intelligente" al modello 3D ottenuto.

1.2.2 Adozione e sviluppo

Il punto di partenza del tema approfondito in questa tesi è legato allo stato dell'arte delle adozioni e degli sviluppi attuali delle procedure SCANtoBIM.

"L'efficiente integrazione dei sistemi BIM con il Facility Management (FM) non è ancora stata raggiunta". [7]

[7] Stato del FM.
Becerik-Gerber B., Jazizadeh F., Li N., and Calis G., *Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management,* J. Constr. Eng. Manage., 138(3):431-442,2012

In riferimento alla seguente affermazione l'analisi è focalizzata sul processo *SCANtoBIM* legato al FM, considerato oggi uno degli impieghi maggiormente diffusi. Uno dei principali benefici apportati nelle operazioni di gestione e manutenzione di un manufatto riguarda una migliore visualizzazione dei componenti edilizi, soprattutto per la disciplina impiantistica, grazie alla restituzione dello spazio in ambienti di realtà virtuale.

Oggi, la ricerca, eseguita sia in ambito accademico che industriale, si basa principalmente sull'automatizzazione del processo, ossia sul riconoscimento automatico deli oggetti per una modellazione più veloce e coerente al dato fornito. I *software* di modellazione BIM richiedono ancora un impegnativo lavoro di tipo manuale che incide direttamente sui tempi e sulla qualità del risultato.
A fronte di questo, diverse aziende hanno sviluppato nuove funzionalità per raggiungere obiettivi di modellazione semi o completamente automatica.

Di seguito, sono descritti i principali *software SCANtoBIM* attualmente disponibili e applicabili a seconda delle discipline (architettonico, strutturale, impiantistico) e le loro principali caratteristiche.

- **As-Built sviluppato da Faro Technologies**
  As built è un *plug-in* pensato per incrementare gli strumenti di modellazione del *software* Autodesk Revit per migliorare la creazione di modelli 3D da dati di nuvole di punti. As built sviluppa diverse funzionalità in grado di soddisfare la modellazione di tutte le discipline.

  In riferimento alle componenti architettonico-strutturali permette:
  - la creazione rapida e precisa di pareti direttamente nella nuvola di punti. Il *software* seleziona automaticamente i tipi di pareti più appropriati, in base allo spessore della parete determinato. Se non viene trovato un tipo appropriato, As built crea automaticamente un nuovo tipo di parete adattato.
  - l'allineamento automatico delle pareti per la creazione di planimetrie rettangolari (ortogonalità) e allineamenti continui degli assi, anche su più piani. Le tolleranze pertinenti da

rispettare sono definite dall'utente e possono essere riviste in dettaglio in un secondo momento per ogni componente della parete.
- l'inserimento di travi e colonne, As built colloca con precisione gli elementi strutturali nella nuvola di punti come profili di travi e colonne che possono essere riconosciuti automaticamente.

Per quanto riguarda la modellazione d'impianti permette:
- la creazione rapida e precisa di tubazioni. As built seleziona automaticamente il tipo di segmento più appropriato in base al diametro del tubo determinato. Se non vengono trovati segmenti idonei, è possibile creare un segmento adatto ai dati analizzati.
- Il posizionamento dei raccordi dei tubi e allineamento preciso dei percorsi dei tubi. L'utente crea percorsi dei tubi collegati che da una parte sono inseriti nella nuvola di punti e dall'altra rispettano i vincoli di coerenza di Revit (percorsi coassiali degli assi angoli predefiniti per curve dei tubi e collegamenti delle diramazioni). [8]

[8] Manuale As-Built versione ita, 2019.

- **RealWorks sviluppato da Trimble Navigation**

  Trimble RealWorks è un *software* di elaborazione dei dati di scansione che fornisce anche strumenti per la modellazione 3D: consente di modellare oggetti 3D direttamente da nuvole di punti, come colonne, travi, muri, tubazioni ecc.
  L'estensione Trimble Scan Explorer consente di importare i dati della nuvola di punti 3D in Trimble SketchUp per creare modelli 3D, di componenti architettoniche o strutturali, dai dati di scansione. Questo modulo permette un'estrazione automatizzata del piano di superficie, in particolare quando si tratta di modellazione spazi interni e/o facciate di edifici.

  Il modulo di modellazione avanzata per gli impianti dispone di una funzione semi-automatica per la restituzione di una tubazione, denominata "*EasyPipe*".
  La restituzione 3D dell'oggetto avviene selezionando la sua superficie, una volta creato il tubo viene evidenziato di giallo, a questo punto è possibile se il risultato ottenuto è conforme alla nuvola di punti o no. In questo caso, l'intervento dell'utente è indispensabile all'identificazione e alla modellazione di ogni singola tubazione.

- **Cyclone sviluppato da Leica Geosystems**

  Leica Geosystems ha sviluppato un *software* contenente diverse funzioni che abilitano la modellazione 3D da nuvole di punti. L'ultima versione di Leica Cyclone 8.1 di Leica Geosystems fornisce agli utenti un'interfaccia contenente strumenti per la modellazione delle tubazioni attraverso l'identificazione automatica con diverse funzioni: il comando automatico pipe finder, la generazione

dell'elemento 3D dai punti selezionati per oggetti cilindrici, la registrazione dell'elemento cilindrico e la creazione del modello 3D dalla nuvola di punti.
Al suo interno contiene vari tipi di elementi geometrici che possono essere utilizzato per la modellazione delle tubazioni come per esempio, il cilindro, il gomito, la riduzione a gomito, a cono, a toro, il riduttore (eccentrico e concentrico) e il tubo a T.
Tuttavia, questo tipo di strumenti di automatizzazione riconoscono solamente l'oggetto senza distinguerne la tipologia di elemento richiesto (es.gomiti, riduttori), quindi, anche in questo caso l'intervento dell'utente è significativa. Altro contributo di Leica GeoSystem sono i diversi *plug-in* rilasciati per la modellazione di tubazioni da nuvole di punti 3D, quali: Leica CloudWorx AutoCAD Pro 5.0, Leica CloudWorx per Revit versione 1.0.2 e Leica CloudWorx Microstation 4.0. Utilizzando questi strumenti *plug-in*, è possibile importare ed elaborare le nuvole di punti 3D all'interno AutoCAD, Revit e Microstation. Le diverse funzioni per la modellazione delle componenti impiantistiche sono essenzialmente due "*pipe fit*" e "*connect pipe*".

- **EdgeWise3D sviluppato da ClearEdge3D**
  Rimanendo sempre nell'ambito della modellazione MEP, ClearEdge3D EdgeWise3D Plant e BIM Suite forniscono una funzione dedicata alla rilevazione automatica delle tubazioni e alla generazione dell'oggetto cilindrico al loro interno, chiamata "*Create a pipe model*". Inoltre, possono essere inseriti correttamente altri elementi di giunzione come i gomiti utilizzando una funzione denominata "*Easy Connect*" in grado di gestire anche nuvole di punti 3D di grandi dimensioni. Al fine di utilizzare efficacemente queste funzioni per la modellazione MEP, è necessario impostare diversi parametri, incluso un numero minimo di punti per il riconoscimento di una tubazione (il valore predefinito è impostato su 80), tolleranza della distanza (il valore predefinito è impostato su 0.0007) e il livello di affidabilità necessario per determinare se sono presenti delle connessioni tra le tubazioni (il valore predefinito è impostato su 47%). Inoltre, si può selezionare un'opzione che consente di decidere di unire gli oggetti adiacenti o meno (il sistema predefinito prevede l'unione).

  Da questa iniziale ricerca risulta evidente come l'applicazione di questi *software* sia sfruttata per applicazioni di tipo architettonico-strutturale, ma in gran parte per ottimizzare il processo di modellazione relativo alle componenti impiantistiche – MEP.

In riferimento all'articolo "*SCANtoBIM – An Overview of the Current State Of the Art and a Look Ahead*" [9] si riportano le affermazioni più significative che definiscono il quadro generale dei risultati dell'approccio *SCANtoBIM* sperimentato in ambiente MEP:

"The experimental results show that the all three software evaluated facilitate a semi-automated 3D modeling process, they still require significant user intervention to identify whether the modeled pipes fit correctly or to uncover any undetected portions such as elbows that need to be modeled. Semi-automated modeling tools may be sufficient for modeling small mechanical rooms; but not for modeling large complex industrial plants."

"Several researchers also studied 3D object reconstruction, specifically for MEP components, from laser scan point clouds to achieve a fully automated SCANtoBIM process. Specifically the method which integrates automated Hough transform and Scan-vs-BIM algorithms, is very promising as it facilitates very accurate MEP object reconstruction." [9]

[9] H. Son, C. Kim, and Y. Turkan. Scan-to-BIM – An Overview of the Current State Of the Art and a Look Ahead.

Rispetto quanto descritto, si assume che nello scenario attuale tutte queste procedure sono ancora agli esordi e ancora largamente sconosciute. Costituiscono, infatti, una delle sfide più significative per il mondo del BIM, che mette sempre più in luce le esigenze e i limiti non ancora totalmente riscontrati e risolti dei nuovi applicativi. A questo punto, è importante precisare che, per mantenere alta l'attenzione sull'argomento e attenuare i limiti degli sviluppi attuali delle procedure *SCANtoBIM* è importante concentrare il discorso sulla definizione di una metodologia di lavoro, piuttosto che sull'introduzione di tecniche e strumenti sempre più avanzati e dispendiosi.

1.3 IL CASO STUDIO: Sede Unica Torre Regione Piemonte

Il caso studio considerato per la sperimentazione di questo processo di lavoro è la Sede Unica Torre Regione Piemonte. Un edificio pubblico caratterizzato da un processo edilizio abbastanza particolare: dal progetto alle fasi di cantiere si sono susseguite molteplici problematiche che, come spesso accade in ambito edilizio, portano al progressivo rallentamento dei lavori causando molteplici svantaggi in termini di tempi e costi.

L'esempio riportato vuole essere un mezzo per evidenziare una problematica molto diffusa nello scenario contemporaneo, ma al tempo stesso diviene un simbolo per lo sviluppo di un metodo il più universale possibile, per ottimizzare le fasi di gestione e manutenzione del patrimonio edilizio già costruito.

1.3.1 Inquadramento territoriale

Fig. 4
Inquadramento territoriale Torre Regione Piemonte

Il progetto sorge nel quartiere di Nizza Millefonti a Torino e si inserisce nel programma di riorganizzazione e riqualificazione dell'area in cui un tempo risiedeva l'ex FIAT Avio di proprietà della Regione e della società Rete Ferroviaria Italiana e Ferrovie dello Stato Sistemi Urbani. Il lotto è delimitato da via Nizza ad est e della Stazione Ferroviaria di Torino-Lingotto ad ovest, via Passo Buole a sud e del polo fieristico a nord.

A seguito di un importante intervento di bonifica da sostanze inquinanti, attuata dalla Regione e monitorata dall'Arpa, l'area post-industriale ormai dismessa e abbandonata da diversi anni, si trasformerà grazie

alla riqualificazione in un nuovo polo nevralgico per il terziario cittadino. Il programma di riconversione comprenderà più di 250 mila metri quadrati di terreno, di cui solamente 95 mila verranno occupati dagli uffici della Regione mentre nei restanti liberi verranno edificati nuovi complessi residenziali, commerciali e di servizio.

1.3.2 Descrizione dell'insediamento

La Torre della Regione Piemonte nasce dall'esigenza di accorpare all'interno dell'edificio Unico tutte le sedi della Regione Piemonte, ad eccezione del Consiglio Regionale che resterà nello storico Palazzo Lascaris.
Il trasferimento delle 27 sedi distribuite nell'area metropolitana di Torino adotta una politica di unione e riduzione delle superfici in affitto, e ha come obiettivo migliorare l'efficienza dell'ente regionale e delle attività amministrative.

Il progetto iniziale presentato dall'architetto Massimiliano Fuksas nel 2001 prevedeva una torre parallelepipeda alta 100metri. Successivamente alla variante del 2006 al vecchio Piano Regolatore e della Divisione Urbanistica del Comune di Torino, il quale prevedeva di non erigere edifici più alti della Mole Antonelliana, il progetto subì consistenti modifiche che determinarono un aumento in altezza a 209 metri.
La realizzazione della Sede Unica si caratterizza per un approccio eco-compatibile, che prevede una produzione energetica integrata orientata a ridurre il consumo da fonti non rinnovabili e l'emissione di sostanze inquinanti.

Il grattacielo è il terzo per altezza in Italia dopo la Torre Unicredit (231 metri) e la Torre Allianz (209.20 metri) entrambe a Milano.
Il progetto prevede 42 piani fuori terra e due piani interrati ed è realizzato in cemento armato e vetro. Nella parte alta della torre, negli ultimi piani del grattacielo è prevista la realizzazione della "Casa del Piemonte", un'area verde con giardino a cielo aperto, con punti di ristoro e di osservazione del panorama accessibile a cittadini e turisti.

Una grande corte interrata di due piani accoglierà la base della torre; su di essa saranno presenti servizi aperti al pubblico e funzioni di supporto alla torre come archivi, la mensa, il centro stampa, le centrali tecnologiche, il magazzino economale e l'ufficio cartografico. La reception e lo spazio espositivo della Regione.

1.3.3 Torre: la centrale in copertura

La Torre per Uffici è il fulcro dell'intero complesso ed è stata concepita per essere un elemento simbolico per tutti i cittadini, un vero e proprio landmark urbano in grado di dialogare con le importanti costruzioni storiche limitrofe.

"*Di circa 204m di altezza (184m fuori terra oltre a una veletta di 20 m di altezza), con affaccio su Via Nizza. La Torre ha dimensioni in pianta di 45X45 m e un interpiano di 4,27 m tranne che per i primi 4 livelli dove l'interpiano è di 8,54 m. Sono presenti due livelli interrati. La struttura è in c.a., caratterizzata da un nucleo centrale rigido attorno cui si sviluppa la pianta, che si presenta differente ai vari livelli, grazie alla porzione su Via Nizza che è composta da una serie di corpi aggettanti dal nucleo, in appoggio alla pilastrata perimetrale denominati "satelliti" che ricoprono solo una parte della superficie di piano. Per la restante parte della Torre, i solai si estendono su tutta la superficie delimitata dalle facciate. Il prospetto della Torre è realizzato con vetrature continue che compongono la "doppia pelle" che riveste l'intero edificio.*" [10]

[10] Piano di manutenzione Nuovo Palazzo per Uffici Regione Piemonte: Progetto Esecutivo.

La porzione di edificio considerata nel caso specifico riguarda la sommità della Torre: la centrale in copertura. In particolare, si fa riferimento all'intervallo di piani compreso tra il livello 43 e il 46, ultimo piano effettivo del complesso.

In realtà il vero e ultimo livello considerato accessibile è il 43 che, secondo il progetto originario, dovrà essere una terrazza panoramica a cielo aperto con spazi verdi e punti di ristoro accessibili non solo a chi ci lavora, ma anche a cittadini e turisti. Questo è lo spazio all'interno del quale si sviluppano gli ultimi 3 livelli del nucleo centrale, totalmente dedicati all'attrezzatura e alle componenti impiantistiche connesse al sistema complessivo dell'edificio.

A questo punto, è importante precisare che la rete di distribuzione impiantistica è stata studiata per consentire una suddivisione sia aeraulica che idraulica zona per zona, al fine di consentire solo il consumo di energia necessaria alla climatizzazione delle sole zone effettivamente utilizzate.
I piani considerati sono caratterizzati da 2 tipologie di sviluppo impiantistico: una relativa alla colonna di distribuzione verticale connessa alla rete impiantistica di ogni piano della torre; l'altra relativa alla distribuzione orizzontale per piano, riferito al sistema meccanico di climatizzazione, al sistema di pressurizzazione per i cavedi degli ascensori e al sistema elettrico, connessi con l'intero complesso.

1.4 OBIETTIVI

L'argomento centrale in questa tesi è la ricerca e la sperimentazione di una metodologia di lavoro innovativa e originale per la restituzione digitale del patrimonio edilizio esistente. Le procedure *SCANtoBIM* rivestono il ruolo centrale per il passaggio dal mondo reale a quello digitale, si pone particolare attenzione alla generazione di un modello BIM il più possibile fedele allo stato attuale, utilizzando come riferimento la nuvola di punti.

Si riassume di seguito la definizione dei principali obiettivi in riferimento al flusso di lavoro seguito:

ANALISI SITUAZIONE DI PARTENZA
Reperimento della documentazione di archivio e rilievo laser scanner per il controllo dell'affidabilità di progetto dell'edificio esistente. Analisi tecnica planimetrica, impiantistica e gestionale dell'edificio per ridurre le discrepanze tra i dati *as built* e l'edificio realizzato – *as is* - e per il corretto posizionamento degli elementi e per la definizione della gerarchia di informazioni e priorità utili a perseguire le finalità del modello BIM per il FM.
Fase di conoscenza e acquisizione dei dati relativi a:

- soluzioni tecnico-costruttive
- organizzazione degli ambienti
- oggetti da manutenere gestire

DEFINIZIONE INPUT
A cosa servirà il modello BIM in futuro, quali sono e saranno gli usi, rispetto ai metodi tradizionali? Quali potrebbero essere le ottimizzazioni di processo in modo da relazionare le operazioni duplicate in un sistema integrato?

Nel caso specifico l'obiettivo ultimo del progetto di implementazione del modello BIM è la creazione di un sistema coordinato e interattivo di condivisione delle informazioni. Queste ultime strettamente legate all'ambito d'applicazione delle operazioni di *Facility Management* riferito alle attività di gestione e manutenzione dell'apparato impiantistico sia meccanico che elettrico.

La volontà è quella di creare una piattaforma informativa che mette a sistema tutti i dati, offrendo una struttura univoca in cui inserirli e da cui estrarli. La raccolta dei dati e la ricerca delle informazioni risultano quindi più veloci e complete.

Input di progetto:
- relazioni e tavole di progetto
- file .dwg dei sistemi architettonico, strutturale e impiantistico
- schede tecniche e progetti degli impianti
- schede di manutenzione

DEFINIZIONE *OUTPUT*

Individuazione di cosa serve effettivamente in merito all'analisi delle esigenze relativa alla categoria di servizio principale, quella dei "Servizi di Manutenzione preventiva": insieme dei servizi finalizzati al mantenimento dello stato funzionale e alla conservazione degli impianti. I dati da estrarre dalla documentazione *as is/as built* e la scelta della forma con cui esportarli, visualizzarli e condividerli si riscontrano nei seguenti *output*:
- planimetrie in formato .pdf per condividere i dati attraverso una veloce e facile individuazione e comprensione dei locali;
- tabelle di dati in formato di testo o .xls, relative a: superfici lorde e nette, destinazioni d'uso e localizzazione degli ambienti, dotazioni impiantistiche e loro posizionamento, numero di apparecchi o terminali con l'indicazione dell'ultima data di revisione e collaudo;
- schede di manutenzione estratte sotto forma di tavole tematiche che evidenziano automaticamente gli oggetti controllati e quelli che sono ancora da revisionare, o da installare o da sostituire;

MODELLAZIONE BIM: AS BUILT

In questo caso l'obiettivo è quello di modellare una porzione dell'insediamento esistente utilizzando come strumento Autodesk Revit. Si parte da elaborati grafici *as built* 2D e informazioni aggiornate acquisite inseguito al rilievo digitale dell'edificio.
Pe consentire un lavoro collaborativo, la complessità dell'inserimento di una grande quantità di dati molto eterogenei tra loro (grafici e alfanumerici), tipica di ogni operazione di FM, ha richiesto la messa a punto di un modello standardizzato in cui tutti gli elementi sono opportunamente descritti e tra loro relazionati.
Il modello BIM di riferimento è stato collegato a due tipi di file separati:

- le piante .dwg per la modellazione architettonica-strutturale degli elementi
- il modello impiantistico (MEP) suddiviso a sua volta in modello elettrico e modello meccanico, contenenti non solo i principali oggetti impiantistici ma anche le relative specifiche (condotti, tubazioni, canaline ecc.)

In questa fase il livello di dettaglio del contenuto informativo, in grado di esaurire tutti gli obiettivi di progetto per un'efficace gestione delle componenti impiantistiche, corrisponde al LOD 500

VALIDAZIONE
Verifica della compatibilità tra il modello BIM e l'edificio esistente. La nuvola di punti - generata dall'acquisizione di dati tramite le scansioni laser scanner - è sovrapposta al modello virtuale per individuare le interferenze e le incongruenze tra il progetto e l'edificio esistente, in merito agli standard di accuratezza e densità.

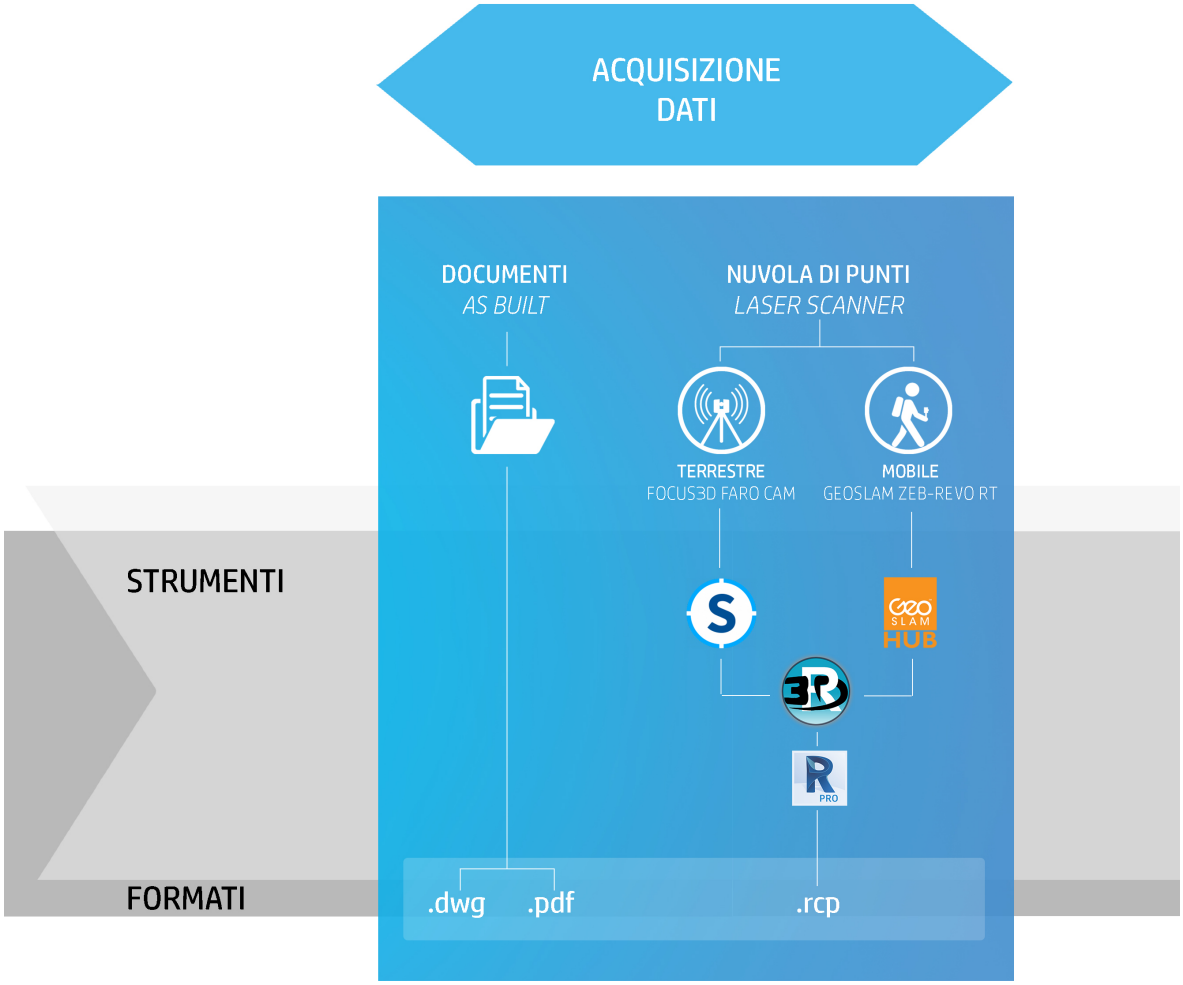
In riferimento al caso studio scelto, ciò che si vuole ottenere è la definizione di un flusso di lavoro che possa essere applicato anche in contesti simili, dove la prima necessità è quella di ricostruire la realtà in tutti i suoi aspetti. Tutte le scelte e le metodologie adottate puntano al risultato migliore non solo in termini di affidabilità ma anche in funzione del corretto apporto informativo rispetto alla finalità a cui è rivolta la modellazione BIM.

In questo senso, percorrendo l'intero sviluppo del processo sin dalle prime fasi di conoscenza del bene, verranno illustrate le soluzioni ritenute più adeguate ed efficienti a migliorare le procedure di applicazione disponibili: dove sarà il metodo a guidare lo strumento e non viceversa.

METODOLOGIA

In questo capitolo si descrive la metodologia adottata per la restituzione del modello 3D "*as built*" dotato di un sistema informativo contenente tutte le componenti e i dati utili al supporto delle attività di manutenzione programmata durante la fase di uso e gestione del manufatto. Nel caso studio specifico l'implementazione del BIM con i sistemi di automatizzazione *SCANtoBIM*, hanno la finalità di attuare un vero e proprio change management che ottimizzi i processi, integrando nuove metodologie, tecnologie e competenze.

Nel descrivere la metodologia adottata, verranno messe in luce le potenzialità e i limiti degli applicativi utilizzati e le criticità connesse alla realizzazione del modello BIM relativo a edifici esistenti, seguendo un *workflow* che sia applicabile anche in contesti simili.


ACQUISIZIONE
DATI
DOCUMENTI
AS BUILT
NUVOLA DI PUNTI
LASER SCANNER
TERRESTRE
FOCUS3D FARO CAM
MOBILE
GEOSLAM ZEB-REVO RT
STRUMENTI
FORMATI
.dwg
.pdf
.rcp

OUTPUT

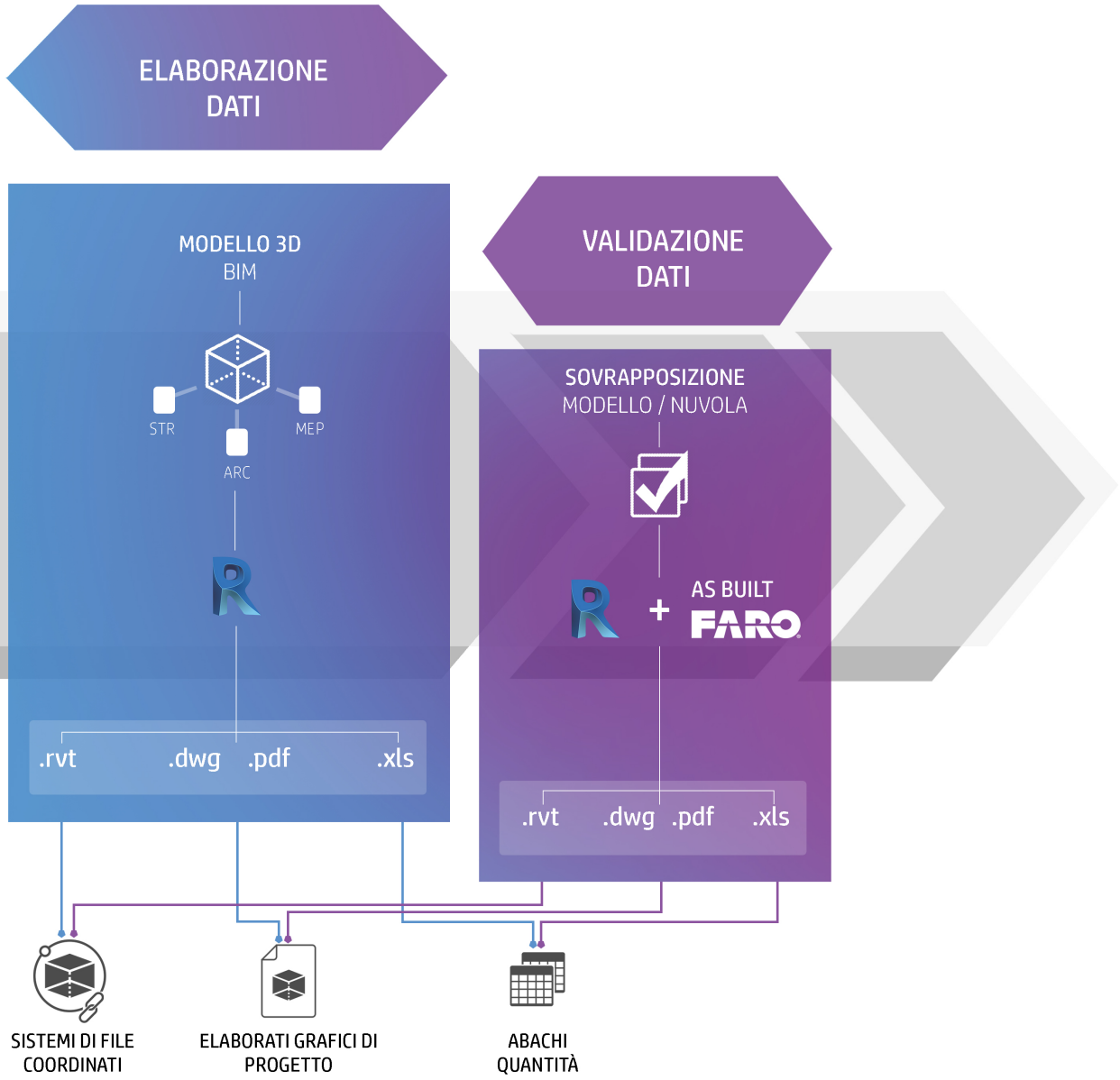


Fig. 5
Schema metodologico del flusso di lavoro.

2.1 ACQUISIZIONE DATI

L'approccio in ottica BIM, relativo agli edifici esistenti, sottolinea l'importanza della fase di reperimento dei dati, dalla documentazione di archivio al rilievo diretto. Il processo iniziale di individuazione dei requisiti informativi, infatti, risulta essere fondamentale per il controllo dell'affidabilità di progetto e per la definizione gerarchica di informazioni e priorità utili a perseguire gli obiettivi prefissati. Dunque, in assenza di informazioni *as built* sufficientemente aggiornate, al fine di poter creare un modello BIM utile alle successive fasi di FM, è risultato necessario aggiornare tutte le informazioni in base alla situazione attuale dell'edificio.

In quest'ottica, si è deciso di adottare il processo definito *SCANtoBIM*, nato proprio con l'obiettivo di trasferire, all'interno dei sistemi BIM, una grande quantità di informazioni *reality-based* in grado di conservare le principali caratteristiche fisiche dell'oggetto descritto e garantendo un controllo più attendibile tramite il modello digitale restituito.

In questo contesto, l'informazione *as built* 2D è stata aggiornata con il rilievo tridimensionale integrato utile a descrivere con maggior dettaglio e precisione il manufatto, con l'obiettivo di prevenire gli errori e aumentare già in partenza la compatibilità tra mondo reale e virtuale.

2.1.1 Raccolta documenti

I primi passi eseguiti per poter procedere alla generazione del modello BIM relativo ad un edificio esistente, è proprio quella di conoscenza e analisi per la definizione degli obietti e degli *input* di progetto. In questa fase è stato indispensabile stabilire la situazione di partenza complessiva dello stato di realizzazione del progetto esecutivo.

Parte del processo di reperimento dati era già stato eseguito in precedenza, quindi il nostro incarico è stato quello di ricercare tutta la documentazione aggiornata disponibile a partire dai file in formato grafico CAD, per le informazioni geometriche, fino a quelli di testo per le informazioni di tipo prestazionale, controllo e gestione. La raccolta di questi nuovi dati forniti a livello multidisciplinare è stata successivamente confrontata con quelli già disponibili, che sono stati integrati, aumentando il contenuto informativo esistente, base del modello unico di Torre.
In questa prima fase si evidenzia come la maggior parte della

documentazione grafica *as built* non sia messa in relazione diretta con i sistemi informativi legati alle operazioni di uso e gestione del bene. I dati risultano essere indipendenti l'uno dall'altro, in un ambiente di lavoro frammentato in cui le diverse discipline viaggiano su binari paralleli, uno dei problemi principali che ancora oggi contraddistingue il mondo edilizio.

L'organizzazione della documentazione relativa al caso studio in oggetto è racchiusa in un'unica cartella nominata Progetto Costruttivo all'interno della quale sono distinte le varie discipline quali: progetto strutturale, progetto architettonico, impianti elettrici e impianti meccanici.

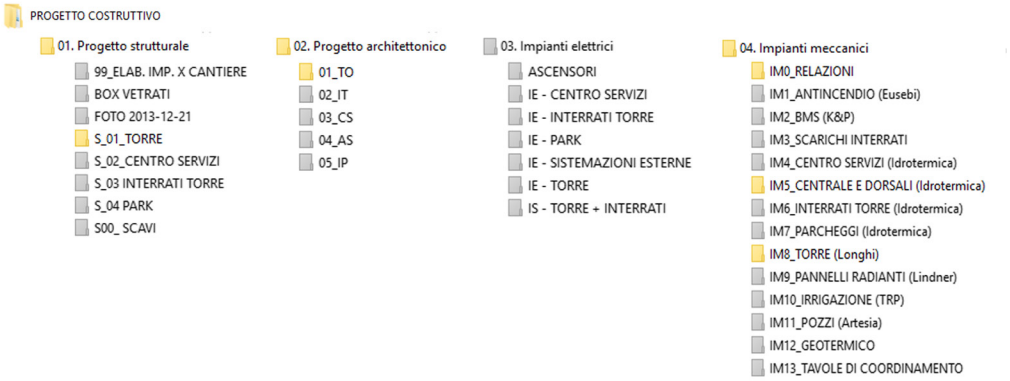


Fig. 6
Organizzazione documentazione DL Torre Regione Piemonte

Per poter riuscire a selezionare i file utili riferiti alla porzione di edificio da noi analizzata è stato necessario organizzare un file excel attraverso il quale sono stati ordinati tutti i documenti utili, editabili (.dwg) e di sola lettura (.pdf), relativi ai piani alti presi in considerazione. Particolare attenzione è stata posta all'ultima data di modifica di ogni documento per essere in grado di selezionare l'informazione più aggiornata, da utilizzare come base di partenza per la generazione del modello BIM.

L'individuazione di questi dati all'interno di una così grande mole di documenti ha richiesto un grande sforzo iniziale per poter garantire un coretto flusso di lavoro, definito in partenza cercando di comprendere il giusto livello informativo come risposta adeguata alle operazioni di facilities.

La principale criticità riscontrata è la mancanza di dati completi e una quantità d'informazione sufficiente e adeguata ad avviare sin da subito la fase di modellazione.

2.1.2 Rilievo diretto

Successiva alla fase di conoscenza e analisi dei dati *as built*, è risultato necessario attuare una campagna di rilievo diretta per poter apportare una prima implementazione al quadro di conoscenza generale relativo ai piani oggetto di approfondimento della tesi.
I primi sopralluoghi effettuati sono stati essenziali a comprendere la distribuzione generale degli ambienti ed il funzionamento complessivo dell'edificio. In questo percorso è stato di fondamentale importanza l'aiuto dell'Ing. Borgogno, figura responsabile all'interno del cantiere della Sede Unica della Regione Piemonte, che ci ha guidato nella conoscenza diretta dell'edificio.

Fig. 7
Foto esterno L_43

A seguito dei sopralluoghi iniziali è stato attuato il rilievo metrico diretto, con lo scopo di definire la posizione nello spazio di alcuni punti di oggetti ritenuti significativi, attraverso l'ausilio di semplici strumenti di misura, quali metro rigido, distanziometro, rotella metrica ecc. Altro strumento di ausilio alle operazioni di rilievo e alle successive fasi di modellazione è stata la fotografia, di notevole importanza come documentazione integrativa contenente tutte le informazioni di carattere visivo necessarie a ricostruire visioni d'insieme e dettagli specifici in base all'inquadratura stabilita.

Questo ha costituito un altro punto di partenza fondamentale: in particolare sono state rilevate le principali dimensioni geometriche degli ambienti come prima verifica in ambito architettonico, poi è stata individuata la consistenza e la posizione degli impianti e delle attrezzature presenti. Come accade spesso in ambito edilizio attraverso la verifica in loco, sono state individuate molteplici discrepanze tra il dato digitale che dovrebbe descrivere l'oggetto per come è realizzato e l'oggetto reale stesso, in termini di dimensioni, forma e posizione.

2.1.3 Rilievo metrico integrato 3D

Nell'ultimo ventennio le tecniche di rilievo metrico hanno subito una radicale trasformazione grazie allo sviluppo di nuove tecnologie che hanno modificato e ampliato le potenzialità dei sistemi tradizionali.

Questa nuova generazione di strumenti di misura impone una sorta di ribaltamento della sequenza logico-operativa. Se nelle fasi precedenti l'obiettivo era quello di interpretare l'oggetto da rilevare decidendo quali punti misurare, questo approccio ha invertito le fasi: prima si esegue l'acquisizione dei dati in maniera indistinta e in tempi rapidi, poi nelle fasi successive di elaborazione si opera la selezione dell'insieme informativo significativo.

Le precedenti tecniche di rilevazione forniscono informazioni disponibili sottoforma di disegni, foto, schede tecniche, ecc., generando un enorme quantità di dati dai quali risulta estremamente difficile estrarre le informazioni utili e garantire la qualità del dato in termini di affidabilità e accuratezza. Le nuove tecnologie maggiormente diffuse, i sistemi a scansione laser, consentono invece di rappresentare con estrema rapidità, in modo oggettivo e dettagliato lo spazio fisico attraverso la posizione di un elevato numero di punti. I molteplici vantaggi attribuiti a queste tecniche di rilievo metrico si limitano, però, a raccogliere solo informazioni relative agli oggetti visibili. Per questi motivi, l'introduzione di nuove applicazioni è da considerarsi come un nuovo apporto al processo di rilievo geometrico, non come un rimpiazzo delle conoscenze del passato.

Non esiste una tecnica che può considerarsi autosufficiente nell'eseguire una qualsiasi operazione di rilievo geometrico indipendentemente dal grado di dettaglio (e dunque di precisione) che si vuole raggiungere. Le migliori soluzioni per la realizzazione di un rilievo geometrico si trovano sempre nell'integrazione delle tecniche di rilievo.
Nessuna pratica può essere a priori esclusa e nessuna nuova tecnica può sostituire completamente quelle già esistenti.
In riferimento al caso studio in analisi, il processo di generazione di un modello BIM per il FM, in questo caso un edificio esistente di nuova costruzione, richiede necessariamente un aggiornamento diretto delle informazioni trasmesse dai disegni as buit.

Al fine di raggiungere questo obiettivo, è stato essenziale descrivere l'informazione geometrica tenendo conto del dato più recente, ossia quello riferito alla situazione attuale, basata sulle ultime modifiche apportate durante le fasi di costruzione.

In questo contesto, le nuove tecnologie di rilevamento avanzato, come la scansione laser 3D, sono uno degli strumenti più vantaggiosi per rispondere a questa sfida.

▪ **Sistemi a scansione laser terrestre**

DEFINIZIONE E PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il laser a scansione terrestre, indicato nella letteratura anglosassone con la sigla TLS – Terrestrial Lser Scanning - è uno strumento digitale in grado di acquisire le coordinate spaziali di una data regione o della superficie di un oggetto a tre dimensioni in modo automatico, sistematico o ad alta velocità. [11]

Il suo principio di funzionamento si basa sul metodo di misurazione delle distanze per mezzo di onde elettromagnetiche, anche noto con il nome LIDAR – *Light Detection Ranging* – che si basa sul LASER – *Light Amplification by Simulated Emission of Radiation*. Dal punto di vista applicativo il laser è un'apparecchiatura che trasforma energia da una forma primaria (elettrica, ottica, chimica, termica o nucleare) in un fascio monocromatico e coerente di radiazioni elettromagnetiche di intensità elevata: la luce laser. [12]

Il processo di acquisizione avviene posizionando lo strumento su un treppiede in un punto fisso, in modo analogo alla fase di posizionamento delle stazioni totali. La scansione si ottiene sostanzialmente mediante opportuni sistemi ottico-meccanici in rotazione su due assi tra loro ortogonali: il raggio laser emesso dal centro dello strumento viene inviato all'esterno verso l'oggetto secondo una variazione costante degli angoli azimutale e zenitale. In questo modo, ogni punto registrato risulta accuratamente misurato e disposto nello spazio 3D poiché possiede due angoli noti e la distanza rispetto al centro strumentale, grazie ai quali è possibile ottenere la loro posizione.

Questo avviene in riferimento a un sistema di coordinate cartesiane (x,y,z), solitamente generate da un sistema di riferimento direttamente correlato allo strumento, con origine nel centro strumentale stesso.

Questi sistemi operano quasi sempre in modo automatico e sono in grado di acquisire un numero elevatissimo di punti al secondo, anche nell'ordine delle migliaia. Al termine della sessione di misura il risultato diretto è una nuvola di punti che descrive la superfice esterna dell'oggetto colpito da raggio laser.

CLASSIFICAZIONE STRUMENTI E LORO UTILIZZO

Allo stato attuale della tecnologia, i principali sistemi con i quali lo strumento riesce ad acquisire questi dati, vengono classificati in riferimento al principio di misura della distanza.
Sostanzialmente si distinguono in: sistemi a triangolazione o sistemi distanziometrici. I primi utilizzati su oggetti di piccole dimensioni, mentre i secondi sono impiegati per rilievi di architetture o intere porzioni di territorio.

[11] Definizione e concetti base tecnologia Laser Scanner. M. Sgrenzaroli e G. Vassena, *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner.* Volume 1 – Introduzione generale. Brescia: Starrylink Editrice, 2007

[12] Principio di funzionamento del sistema a scansione laser. Laboratorio di geomatica per la modellazione dell'architettura. Slide lezione Prof. F. Chiabrando

▪ **Sistemi a Triangolazione**

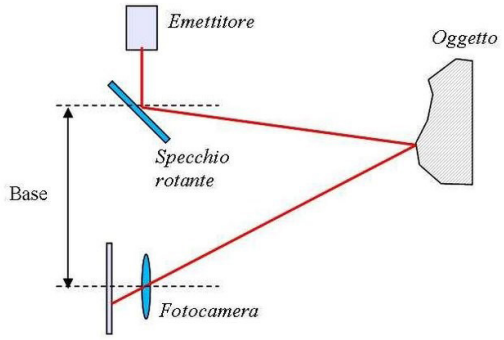


Fig. 8
Principio di funzionamento dei Sistemi Laser a Triangolazione

I sistemi laser scanner triangolatori basano la misura della distanza sullo stesso principio della triangolazione utilizzato in topografia, che sfrutta la conoscenza di alcuni elementi di un triangolo attraverso l'applicazione dei teoremi geometrici di Talete: noto un lato x e due angoli è possibile risolvere il triangolo e ricavare la distanza z.
In questo caso, il primo corrisponde alla caratteristica intrinseca di questo sistema, ossia la distanza prefissata e calibrata che separa emettitore e ricevitore. I secondi, misurati in fase di acquisizione, corrispondono: l'uno all'angolo creato tra il raggio emesso e la base dello strumento e l'altro all'angolo creato tra il raggio riflesso e la base. In questo modo le informazioni geometriche acquisite descrivono le distanze tra tre punti nello spazio.
Il funzionamento è regolato da una precisa geometria che lega il sensore che emette l'impulso laser, poi deflesso tramite uno specchio rotante, l'oggetto colpito e un diverso sensore (o più sensori) che riceve e cattura il segnale riflesso.

L'applicazione di questi dispositivi risulta particolarmente efficace nel caso di oggetti di ridotte dimensioni, come i dettagli architettonici, grazie alla capacità di raggiungere un'elevata accuratezza della misura, fino alla scala del micron, e in funzione alla loro ridotta portata che va dai 30 ai 200 cm.

▪ **Sistemi distanziometrici**

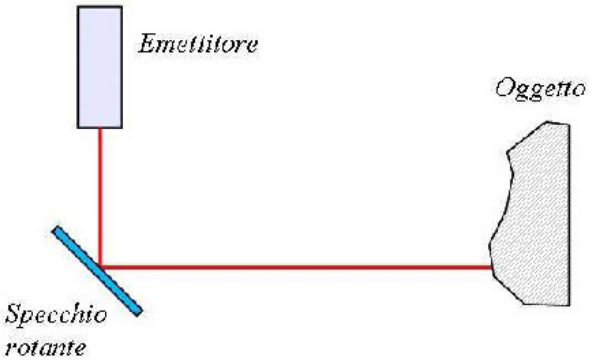


Fig. 9
Principio di funzionamento dei Sistemi Laser Distanziometrici

Si definiscono distanziometrici i sistemi laser scanner che basano la misura della distanza sullo stesso principio utilizzato dalle stazioni totali topografiche ad impulsi. Entrambi operano in modo analogo determinando la posizione di un punto nello spazio tramite le sue coordinate polari (una distanza nello spazio e due angoli, uno sul piano orizzontale e uno su quello verticale) trasformate in coordinate cartesiane. Se, però, nel caso della stazione totale il punto misurato è collimato, quindi "scelto" a priori dall'operatore, nel caso dello scanner il campionamento dello spazio avviene in modo denso ma acritico. Le due soluzioni adottate si distinguono in:

- Sistemi a tempo di volo, meglio conosciuti come TOF - Time Of Flight – cioè il tempo che intercorre tra l'emissione della pulsazione laser, riflessa dall'oggetto, e il suo ritorno al sensore. Sono apparecchi ottici che consentono di ottenere come risultato la distanza della superficie riflettente calcolata fra il centro dello strumento e il primo punto che il raggio laser incontra.

Gli scanner TOF rientrano nelle strumentazioni di nuova generazione perché dotati di un meccanismo in grado di misurare la direzione di puntamento, a cui si aggiunge un distanziometro che prevede la trasmissione del segnale laser e la successiva misura del tempo di ritorno tra l'emissione e la ricezione (tempo di volo). Inoltre, la rotazione di due specchi attorno agli assi x e z (l'asse y e associato alla distanza e la z è la verticale) associa a questo intervallo di tempo una misurazione angolare di precisione, che determina la spaziatura tra i molteplici punti acquisiti. Il movimento sferico genera come risultato finale una nuvola molto densa di punti, ognuno dei quali con coordinate note e distribuiti a modi rete non strutturata sulla superficie dell'oggetto indagato.
I principali vantaggi sono dati dalla possibilità di trasmettere una notevole quantità di energia in un breve intervallo di tempo, limitando così l'influenza del rumore di fondo, e operare in un range di distanze più ampio, effettuando misure fino a centinaia di metri con precisioni sub-centimetriche.
I tempi estremamente ridotti, grazie all'elevata velocità della luce comportano un'incertezza di misura compresa da alcuni mm ad un paio di cm, raggiungendo un livello di precisione adatto al rilievo di strutture architettoniche, per le quali un errore in termini di millimetri risulta relativamente piccolo. Ecco perché questi sistemi risultano meno accurati dei sistemi a triangolazione.

- Sistemi a differenza di fase, anche detti PS – *Phase Shift*, in riferimento al metodo di acquisizione del dato in termini di differenza di frequenza d'onda. Anche in questo caso la misura della distanza avviene in corrispondenza a direzioni orizzontali e verticali predefinite, ma rispetto ai sistemi analizzati precedentemente, questi sfruttano una codifica del segnale luminoso che consente di individuare uno sfasamento, tra il distanziometro e la superficie dell'oggetto rilevato.

Il principio di funzionamento di questi strumenti si basa sull'emissione di luce strutturata a frequenza fissa, non impulsiva, ma modulata d'intensità. Quest'ultima viene trasmessa verso un oggetto (o un prisma riflettente) che riflette parte dell'onda verso l'apparecchio ricevente, che ne interpreta le interferenze e ne determina la distanza confrontando la differenza tra la fase dell'onda emessa e quella ricevuta.

Rispetto ai sistemi a tempo di volo, la portata risulta ridotta ma la velocità di scansione nettamente superiore permette di generare in pochi minuti nuvole di punti ricche e dettagliate. Per questo sono tra gli strumenti di raccolta dati più rapidi presenti in commercio e il loro utilizzo è spesso associato ad altri sensori, per consentire la referenziazione dei dati anche in applicazioni dinamiche, con un range operativo tra gli 80 e i 300 m.

▪ **Mobile mapping Systems**

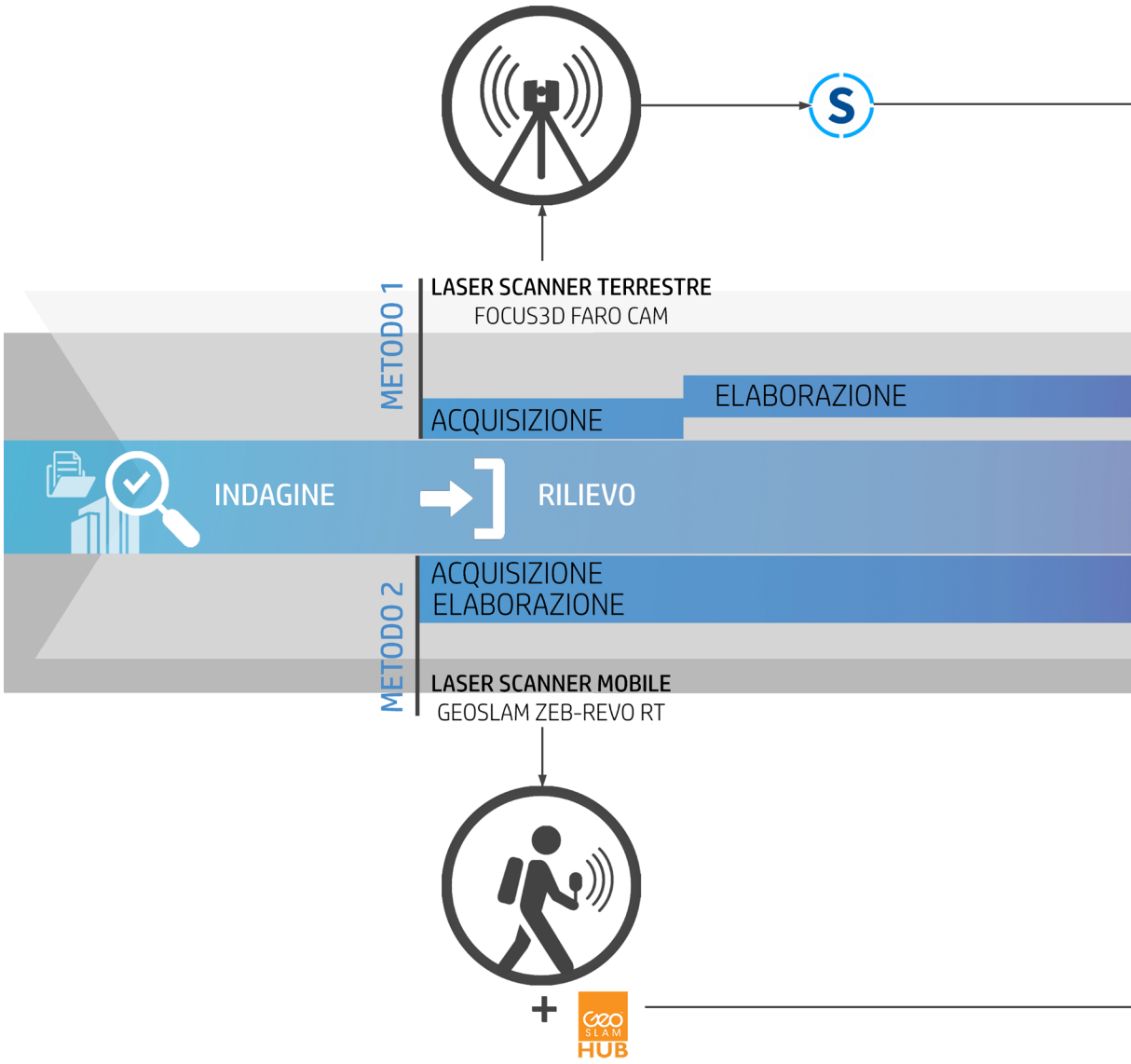
Gli sviluppi più recenti degli strumenti di rilevazione laser scanner hanno messo in risalto le potenzialità di questa tecnologia riferite alla notevole velocità di acquisizione dei dati. Questo è avvenuto con l'introduzione di tecniche di rilievo non più vincolate da un punto fisso, ma che sfruttano il movimento. Si introduce così il termine MMS Mobile Mapping System.

"Si definisce Mobile Mapping System – MMS – una piattaforma mobile, sia essa aerea oppure terrestre, sulla quale sono integrati sistemi e sensori di misura atti ad acquisire, contemporaneamente la posizione 3D quasi continua della piattaforma e dei dati metrici 2D/3D geo-referenziati". [...]
D*al punto di vista tecnologico è un sistema multi-sensore, costituito principalmente da tre componenti: sensori di mappatura (laser scanner e/o fotocamere digitali), sensori di navigazione/posizionamento (IMU/ GNSS) e un'entità di controllo, che sincronizza e integra l'acquisizione dell'informazione geometrica e di posizionamento. Tutti i sensori sono integrati su una piattaforma mobile rigida (ad esempio furgoni, auto, treni, barche, slitte mobili, persone, ecc.), la cui traiettoria è calcolata e utilizzata per produrre dati 2D/3D georeferenziati."* [13]

[13] Definizione di Mobile Mapping System.
Toschi I., Remondino F., Orlandini S., *Mobile Mapping Systems: recenti sviluppi e caso applicativo.*

In questo caso lo strumento può essere montato su uno strumento in movimento o anche essere portatile. Non si tratta più di uno strumento da posizionare bensi di uno strumento in grado di sfruttare tutte le qualità del laser scanner terrestre aumentandola sua efficacia grazie alla possibilità di muoversi nello spazio oggetto del rilievo. Questo permette di aumentare ancora di più la velocità di scansione anche in merito ai sistemi di localizzazione GPS e inerziali IMU.
In merito alle caratteristiche descritte apporta significativi vantaggi in termini di tempi e costi, garantendo comunque una buona risoluzione riferita all'accuratezza del dato restituito.

2.1.4 Dal rilievo alla nuvola di punti



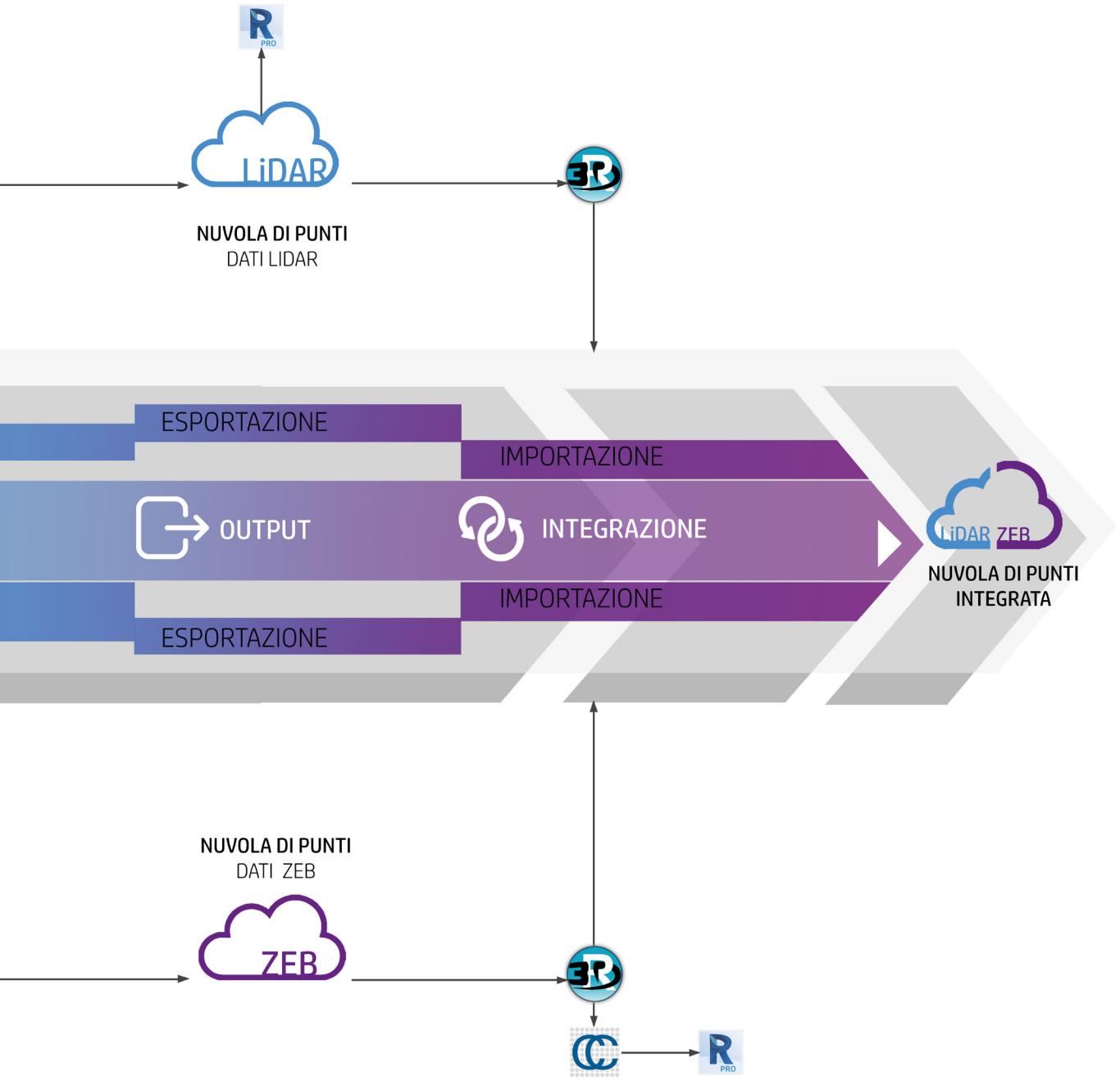


Fig. 10
Diagramma di flusso del processo di elaborazione dei dati acquisiti con *laser scanner*

PIANIFICAZIONE DEL RILIEVO

Ancor prima di procedere all'effettiva fase di rilievo è fondamentale definire un quadro d'indagine generale per valutare quali sono gli aspetti da tenere in considerazione e quali le modalità con cui si vuole procedere, dagli strumenti alla metodologia operativa. Sin da subio la preventiva fase di conoscenza, tramite i disegni CAD e i sopralluoghi guidati, si è rivelata di fondamentale importanza per avere un quadro di conoscenza appropriato in riferimento all'ambiente da rilevare.

Per poter garantire risultai ottimali il lavoro è stato impostato partendo da due importanti aspetti:

- Tipologia dell'oggetto da rilevare

L'oggetto del rilievo è la sommità del nucleo centrale, in cui si colloca la centrale comprensoriale di tutta la Torre, circondato da uno spazio esterno all'aperto, chiuso sui quattro lati con ampie vetrate. Le geometrie semplici dell'ambiente esterno sono in contrasto con la complessità degli spazi interni. Lo spazio interno è particolarmente articolato perché si tiene conto sia della relazione tra i diversi ambienti che dello sviluppo su più livelli. A questo si aggiunge la presenza della componente impiantistica di riferimento al singolo piano e un cavedio di distribuzione verticale connesso all'intero edificio. Da qui l'esigenza di fornire nella maniera più precisa, non solo informazioni di tipo architettonico e strutturale ma anche di carattere impiantistico.

- Tipologia del risultato finale da ottenere

Il tipo di risultato da ottenere è direttamente legato allo scopo per il quale il rilievo stesso viene fatto. Come già anticipato, nel caso specifico, il fine ultimo del modello BIM deve rispondere alle future necessità di controllo e gestione dell'intero organismo edilizio. Un modello BIM ricco di informazioni che possano essere gestite e condivise, partendo da un rilievo digitale di medio-alta risoluzione. Il risultato finale deve rappresentare con accuratezza lo stato attuale della sommità della Torre, senza entrare nel dettaglio, ma con una precisa restituzione dei volumi e della forma delle componenti edilizie, delle diverse discipline, che costituiscono l'edificio: dai muri ai solai fino a scale, porte e impianti. Dovendo infatti rispondere alle necessità per la generazione di un modello *as built* per il FM è stato necessario rilevare, al pari della struttura, anche tutte le dotazioni collegate – tubazioni acqua e canali aria – relative all'impianto meccanico.

SCELTA DEI PUNTI DI STAZIONE

Per poter descrivere un oggetto in modo adeguato l'acquisizione deve essere effettuata da punti differenti; per questo, per poter scegliere e fissare quanti e quali dovranno essere i punti di stazione da cui eseguire le scansioni, è importante eseguire un'analisi preventiva dell'edificio in modo da effettuare un rilievo privo di lacune.

Il risultato finale di ogni scansione è rappresentato da una singola o più nuvole di punti di elevatissima densità – milioni di punti – come descrizione dettagliata della superficie dell'oggetto e dello spazio raggiunto dall'estensione dell'area di presa dello strumento.

SCELTA DEGLI STRUMENTI

Altro step preliminare all'esecuzione di un rilievo laser scanner è la scelta dello strumento, non è strettamente legato ad un metodo stabilito ma avviene solitamente in base alle caratteristiche e ai parametri relativi alla velocità di acquisizione dei dati, alla risoluzione con la quale si effettua la scansione e la deviazione dell'impulso laser.

Di seguito la tabella che riassume le particolarità in base alle diverse tipologie di sistemi a scansione laser, oggi, maggiormente diffuse.

	Measur principle	Sensor weight	Max FOV	Min/max range	Angular accuracy	Range accuracy	λ	Camera
Leica Scanstation 2	TOF	18.5 kg	270 x 360	0.3-300	0.003°	4 mm @ 50 m	532	integrated
Leica C10	TOF	13 kg	270 x 360	0.3-300	0.006°	4 mm @ 50 m	532	integrated
Leica HDS6200	PS	14 kg	310 x 360	0.4-79	0.007°	3 mm @ 50 m	670	add-on optional
Riegl VZ-1000	TOF	9.8 kg	100 x 360	2.5-1,350	0.005°	8 mm @ 100 m	NIR	add-on optional
Riegl VZ-400	TOF	9.8 kg	100 x 360	1.5-350/600	0.005°	5 mm @ 100 m	NIR	add-on optional
Optech ILRIS HD-ER	TOF	14 kg	40 x 40	3-3,000	0.003°	7 mm @ 100 m	1535	integrated
Optech ILRIS HD-LR	TOF	14 kg	40 x 40	3-2,000	0.004°	7 mm @ 100 m	1064	integrated
Topcon GLS-1500	TOF	17.6 kg	360 x 70	1-330	0.006°	4 mm @ 150 m	NIR	integrated
Maptek I-Suite 8800	TOF	14 kg	360 x 80	2.5-1,400	0.01°	10 mm	NIR	integrated
Trimble GX 3D	TOF	13 kg	360 x 60	<350	-	7 mm @ 100 m	532	integrated
Trimble CX	TOF & PS	12 kg	360 x 300	1.0-80	0.004°	2 mm @ 30 m	660	integrated
Faro Photon 120	PS	14.5 kg	320 x 360	0.6-120	-	2 mm @ 10 m	785	integrated
Faro Focus 3D	PS	5 kg	305 x 360	0.6-20/120	-	0.6 mm @ 10 m	905	integrated 70 Mpx
Z+F IMAGER 5006 Basis Surphaser 25HXS	PS	13,2 kg	310 x 360	0.4-79	-	0,7 mm @ 25 m	VIS	add-on optional

Fig. 11
Tabella principali laser scanner terrestri.
F. Remondino, Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. Remote Sens. 2011, 3, 1104-1138

In corrispondenza alle finalità del rilievo, del caso studio in esame, la modalità a cui si fa riferimento è quella basata sui sistemi distanziometrici a differenza di fase.
La scelta è ricaduta sull'utilizzo di questa strumentazione per permettere una rapida e massiccia raccolta di dati in tempi relativamente brevi.

In particolare, si è deciso di procedere sperimentando la metodologia di rilievo metrico laser scanner attraverso l'integrazione di due diversi strumenti: quello a scansione terrestre FARO CAM e quello a scansione mobile – MMS, *Mobile Mapping System* - ZEB-REVO.
Il primo strumento prevede uno studio accurato per il posizionamento in punti specifici dell'ambiente da rilevare, nel caso in analisi, sia esterni che interni. Per ottimizzare il rilievo occorre determinare le varie stazioni di rilievo in vista le une con le altre, a definire un percorso lineare e chiuso, in modo che al momento dell'analisi dei dati, avendo più punti in comune, l'unione delle scansioni risulti più accurata.

Le principali difficoltà riscontrate in questo tipo di rilievo, tenendo in considerazione le caratteristiche fisiche del nostro spazio, sono legate al fatto che la radiazione luminosa talvolta crei una falsa informazione. Ad esempio, nel caso delle ampie vetrate che costituiscono l'involucro esterno del grattacielo, essendo superfici trasparenti, vengono attraversate dal raggio laser raccogliendo punti che sarebbero altrimenti nascosti, creando così maggior rumore nella nuvola di punti generata. Nel caso di oggetti opachi od ostacoli che creano zone d'ombra la scansione non restituisce alcun punto, mentre le superfici riflettenti restituiscono una falsa informazione sull'oggetto colpito.

Altro tipo di disturbo di minima entità, nella fase di scansione, è stato provocato dalla presenza di persone in movimento presenti nell'area di rilievo, come gli operatori di cantiere o altre tipologie di oggetti come strumenti e macchinari di lavoro.

- **Laser Scanner terrestre FARO-CAM**
  Il laser scanner Focus 3D di Faro CAM2 consente di creare immagini fotorealistiche tridimensionali ed effettuare misurazioni rapide, semplici e di elevata precisione di oggetti ed edifici complessi.
  Questo strumento è particolarmente utile alle applicazioni in ambienti sia interni che esterni, che devono ottenere un risultato di scansione tridimensionale preciso in tempi abbastanza rapidi.
  Inoltre, è in grado di restituire una nuvola di punti texturizzata e fotorealistica grazie all'integrazione nello strumento stesso di una fotocamera digitale capace di catturare immagini in modo più dettagliato e garantire una sovrapposizione naturale dei dati scansionati anche nei casi di ambienti con elevata luminosità.
  Nonostante il suo utilizzo richieda l'impiego di un treppiedi per il posizionamento nei punti di stazione, il peso e le dimensioni lo rendono facile da gestire durante la fase di acquisizione. Altro vantaggio è costituito dalla possibilità di collegare lo strumento direttamente all'applicativo CAM2 SCENE su un computer portatile, questo permette una registrazione automatica e completa dei dati direttamente in sito senza dover eseguire in una fase successiva le operazioni di registrazione.

• **Laser Scanner mobile GoeSLAM**

Tra i sistemi commerciali disponibili sul mercato, il laser scanner portatile ZEB-REVO RT di GeoSLAM rappresenta una delle più recenti soluzioni di MMS e si distingue per la sua altissima velocità di scansione, fino a dieci volte superiore rispetto agli strumenti tradizionali, ed elevata qualità, completezza e densità del dato.
Lo slogan "*go-anywhere*" sintetizza il suo grande vantaggio riferito al metodo di rilevazione capace di acquisire rapidamente e con estrema precisione l'ambiente fisico mentre si è in movimento. Una strumentazione laser scanner leggera e portatile, altamente mobile e semplice da usare alla portata di chiunque.
Con questa tecnica la fase di acquisizione dati è definita "*Scan&Walk*": i dati vengono catturati mentre l'utente percorre l'area d'interesse. Una soluzione versatile, adattabile a qualsiasi ambiente e che permette di raggiungere anche gli spazi più complessi e chiusi senza l'uso del GPS.

Lo scanner portatile ZEB-REVO RT offre un modo rapido e semplice per catturare dati e creare nuvole di punti 3D. Questo strumento non richiede la necessità di tempo per la configurazione dello scanner e la registrazione dei dati associata ai metodi di scansione laser terreste. La nuvola di punti viene generata in una frazione di tempo attraverso il tradizionale sistema di scansione laser terrestre.[15]

Esso integra un laser scanner 2D a tempo di volo unito rigidamente ad un'unità di misura inerziale (IMU) montata su un motore di guida. Il movimento della scansione è generato dal motore di guida che fornisce la terza dimensione necessaria a produrre informazioni 3D. Per creare nuvole di punti accurate viene utilizzato un nuovo algoritmo di localizzazione e mappatura simultanea 3D (SLAM), che consente di integrare i dati derivati dalla scansione 2D con quelli IMU.

LIST OF PARTS	
1 GS_610042	ZEB-REVO hand held laser scanner
2 GS_610070	ZEB-REVO RT Processing Unit
3 GS_610008	ZEB-REVO main cable
4 PAG_9307V	ZEB-REVO RT battery
5PAG_9710	ZEB-REVO RT battery charger
6 MUS_40_1_5	Shoulder strap
7 RS_832-347	Ethernet cable
8 GS_610073	ZEB-CAM cable (compatible with RT Processing Unit
9 GS_510072	Heavy Duty Carry case
10_GS_SW_LICENSE	GeoSLAM HUB license dongle and USB memory stick
11 GS_610071	Magnetic mount for tablet or cell phonr

Fig.12 Tabella principali compoenti

Il meccanismo di scansione ZEB-REVO acquisisce la misurazione del raggio laser grezzo e i dati inerziali, i quali sono registrati automaticamente in una nuvola di punti 3D omogenea, quasi in tempo reale, tramite l'unità di elaborazione dati ZEB-REVO RT. Da qui, la nuvola di punti ottenuta può essere direttamente scaricata e importata nell'applicazione di visualizzazione grafica, GeoSLAM Hub, e/o esportata in una gamma di formati standard, per rendere i dati leggibili anche da altri *software*.

Il metodo di funzionamento si basa su un sistema di mappatura verticale a 360° e un raggio di azione di circa 30m che in movimento riesce a catturare più di 43000 punti e 100 profili al secondo. Inoltre, il *software* di elaborazione automatico SLAM (*Simultaneous Localisation And Mapping*) allinea i dati senza la necessità di un controllo esterno per produrre una nuvola di punti altamente accurata e immagini sincronizzate dell'area rilevata.

SPECIFICATION	
Maximum range	Up to 30m in optimal conditions Typical max range 15-20m
Points per scan line	432 (0,625° interval)
Field of view	270°x360°
Scan rete	100 line/s 43200 points/s
Scan range noise	**± 30mm**
Laser safety classification	CLASS I Laser Product (21 CFR 1040.10 and 1040.11)
Laser wavelenght	905nm
Operating conditions	Temperature 0°C to +35°C Humidity - non condensing
Power supply	14.8VDC, approx. 5.0A
Weight	Scanning head 1.0kg Carry case and contents 4.1kg
Dimensions	Scanning head 80x113x140mm (287mm incl handle) Carry case and contents 470x220x180mm
Battery life	Approximately 90 minutes continuous useK41:L62L61K42:L62K39K36:L62

Fig.13 Tabella specifiche laser ZEB-REVO

Una volta mappato l'ambiente, le immagini sincronizzate e i dati acquisiti della nuvola di punti possono essere visualizzati attraverso il *software* di visualizzazione rapida GeoSLAM hub, sia in 2D che in 3D. *Software* intelligente che trasforma i dati in informazioni 3D in tempo reale, offrendo rapidità e risultati accurati in pochi minuti. Grazie a questi *software* di elaborazione e registrazione locale è possibile controllare i dati acquisiti istantaneamente in sito ed esportare i file in formati standard.
Tutte queste peculiarità rendono questa tecnologia estremamente versatile ed efficace per nuovi campi di applicazione come il BIM.

Metodo 1: Laser scanner Focus3D di FAROCAM

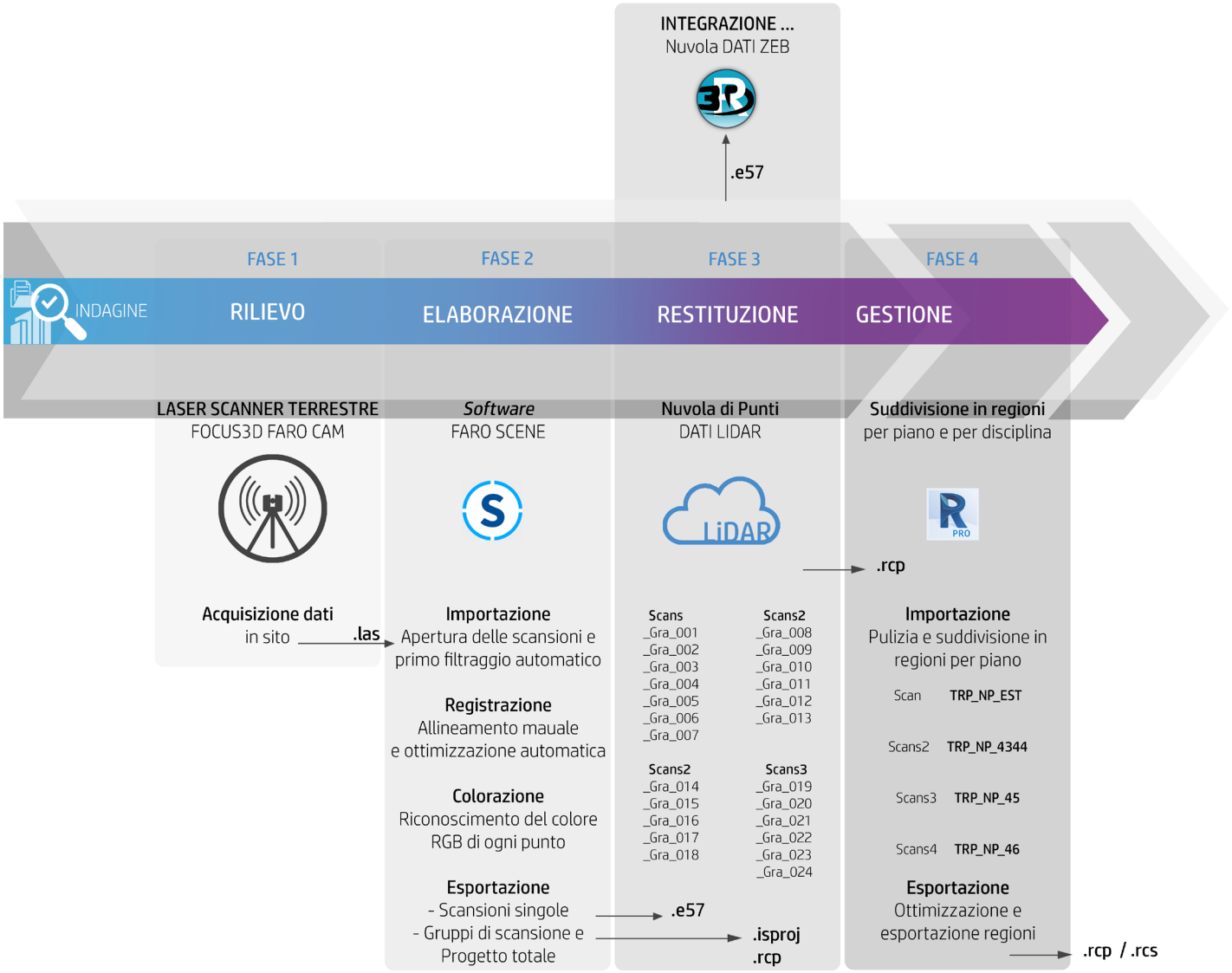


Fig.14 Diagramma di flusso del processo di elaborazione dei dati acquisiti con laser scanner LIDAR

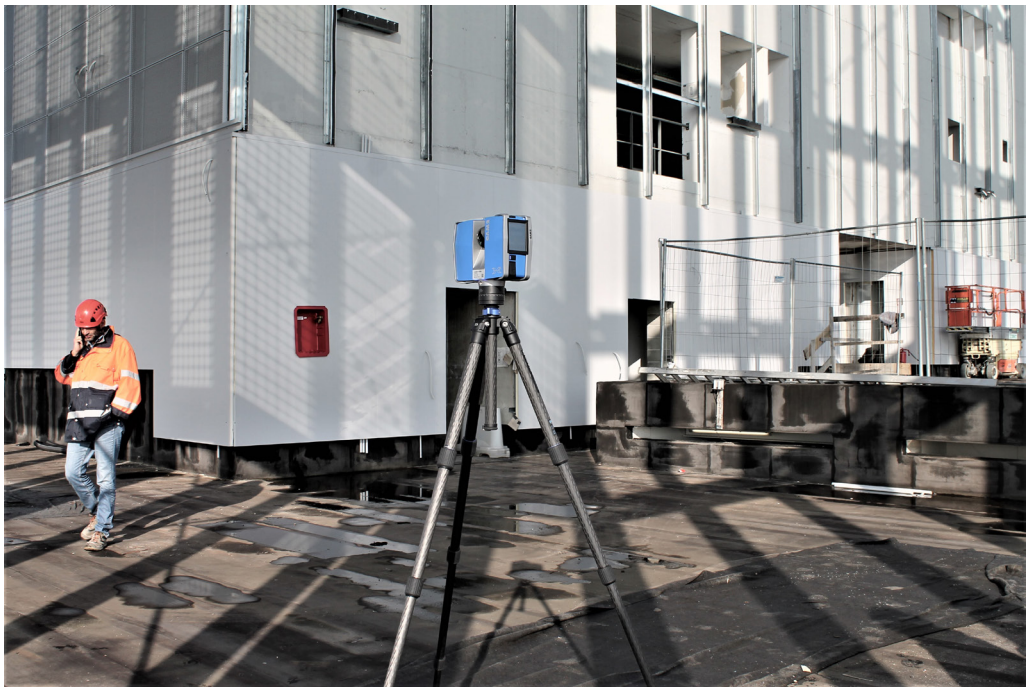


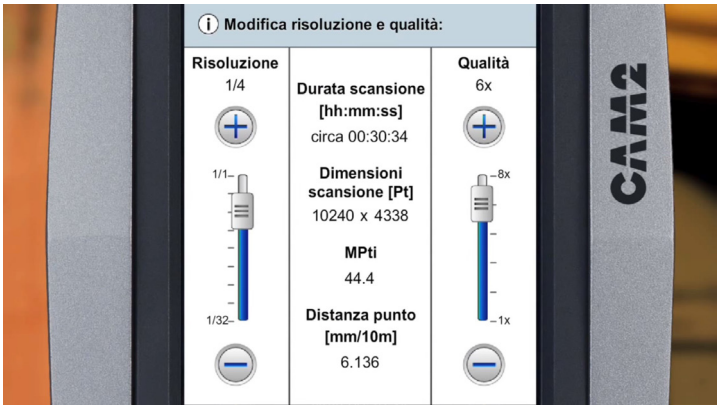
Fig.15 Primo punto di stazione laser scanner FOCUS 3D di FARO CAM

ACQUISIZIONE DATI

Una volta progettata la geometria delle prese e scelta la risoluzione di scansione in base alle caratteristiche formali e dimensionali dello spazio in analisi, si è avviata la fase di acquisizione dati.

Posizionato il treppiede sul primo punto di scansione è stato montato lo scanner FOCUS 3D di FARO CAM, controllando tramite la livella a bolla integrata il suo perfetto posizionamento in piano. Per prima cosa si è impostata l'altezza dello scanner in modo che il campo visivo coprisse quanto più possibile l'oggetto del rilievo: nel nostro caso gli ultimi piani del nucleo della torre.

Dopo aver acceso e collegato lo scanner, è stato configurato il sistema impostando i parametri di scansione. Si tratta delle impostazioni di risoluzione e qualità: la prima stabilisce quanti punti vengono catturati in una scansione, mentre la seconda è riferita alla precisione, maggiore è il numero di punti acquisiti migliore è il dettaglio della scansione. Da questi due parametri dipendono, in maniera inversamente proporzionale, la dimensione dei file e la durata del processo di ogni scansione in termini di velocità. La scelta di questi valori è stata fatta in riferimento alle esigenze della successiva fase di modellazione BIM.



[16] Il laser scanner portatile ZEB-REVO RT
ZEB-REVO RT User's Manual. V1-0-3. 2018

Per effettuare una registrazione tridimensionale completa dell'intero ambiente, relativo sia al contesto esterno che alla distribuzione dei locali interni, è stato necessario eseguire molteplici scansioni da postazioni differenti.

A questo proposito lo schema di acquisizione seguito è di due tipi:

- nel caso del rilievo esterno lo schema di posizionamento del laser scanner segue la tecnica per il rilievo di un oggetto a tutto tondo: si sono presi come riferimento i 4 angoli della corte esterna e un singolo punto centrale. In questo modo, si è garantito per ogni presa il grado di sovrapposizione sufficiente alla sola descrizione dello spazio esterno come contestualizzazione del blocco centrale, oggetto principale dell'analisi.

Fig.17 Schema di posizionamento dello scanner per lo spazio esterno

- nel caso del rilievo degli spazi interni in relazione all'obiettivo finale è stato necessario fornire una documentazione più esaustiva. Per questo motivo, tenendo in considerazione la presenza del vano scala come punto di connessione tra un interpiano e l'altro e il prevalente sviluppo lineare di tutti gli spazi interni, si sono eseguite più scansioni da punti di vista diversi.

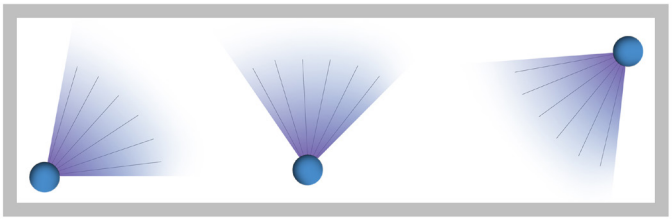


Fig.18 Schema di posizionamento dello scanner per lo spazio interno

Seguendo le queste modalità sono state eseguite più scansioni in modo da acquisire la porzione di edificio dalle diverse angolazioni necessarie.
A questo punto è stata avviata la scansione: l'intera area circostante è digitalizzata dopo una rotazione di 180°, e una successiva rotazione per la calibratura dello strumento stesso. Al completamento di ogni scansione i risultati sono stati visualizzati direttamente sul display dello scanner e archiviati nella scheda di memoria inserita al suo interno.

ELABORAZIONE DATI

I dati ottenuti durante la fase di rilievo vengono portati all'interno del computer tramite il *software* di elaborazione, FARO SCENE, dove vengono eseguite le principali operazioni di trattamento dei dati di scansione per arrivare all'ottenimento della nuvola di punti complessiva.

Il *software* SCENE utilizzato in questa fase è direttamente prodotto da FARO CAM. Viene utilizzato per l'elaborazione e la gestione dei dati in modo efficiente e semplice attraverso la registrazione della scansione, il riconoscimento automatico dell'oggetto e il suo posizionamento generando dati di elevata qualità a colori. [14]

[14] Descrizione software scene
https://www.faro.com/it-it/prodotti/costruzione-bim-cim/faro-scene/

Il processo seguito per il raggiungimento di questo obiettivo viene spiegato di seguito, attraverso immagini e descrizioni dettagliate delle varie fasi che lo compongono:

1. Importazione e filtraggio automatico

I file di scansione .fls vengono importati nel *software* di elaborazione dati e automaticamente filtrati eliminando i punti con riflettanza minore di un certo valore preimpostato, migliorando così la leggibilità e l'affidabilità della geometria ricavata. Una volta terminato il caricamento di ogni scansione appare un quadratino di colore verde sul lato sinistro di ogni nuvoletta.

Fig.18 Schema di Filtraggio automatico dei dati importati in SCENE

2. Struttura del *workspace*

Per avere una panoramica di tutte le scansioni necessarie è stato organizzato accuratamente l'ambiente di lavoro per avvantaggiare le successive fasi di elaborazione. I file sono raggruppati in 4 cartelle di progetto, la struttura di queste cartelle è stata creata seguendo l'ordine delle scansioni esterne ed interne:

- Scans: contiene 7 scansioni eseguite al livello 43, nello specifico 5 esterne e 2 interne (punto di contatto tra esterno ed interno)
- Scans1: contiene 6 scansioni interne relative al piano 44
- Scans2: contiene 5 scansioni interne relative al piano 45
- Scans3: contiene 6 scansioni interne relative al piano 46

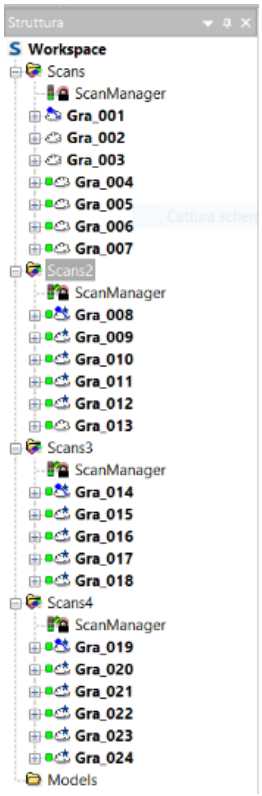


Fig.19 Organizzazione del workspace in FaroSCENE

3. Allineamento manuale e collocazione automatica

Per ogni gruppo di scansione è stato eseguito un primo allineamento manuale approssimativo. Le singole nuvole sono state sovrapposte tramite il riconoscimento di coppie di punti corrispondenti nelle zone comuni tra una scansione e l'altra. In questo caso si è fatto riferimento a punti naturali come gli spigoli dello spazio rilevato, sia in pianta che in sezione.

Solo in un secondo momento è stata eseguita la collocazione automatica delle scansioni secondo le seguenti impostazioni:

- Modalità di collocazione: da nuvola a nuvola
- Sottocampionamento: medio, con distanza media dei punti inferiore a 5 cm
- Numero massimo di iterazioni: 30
- Distanza di ricerca massima: 10 m

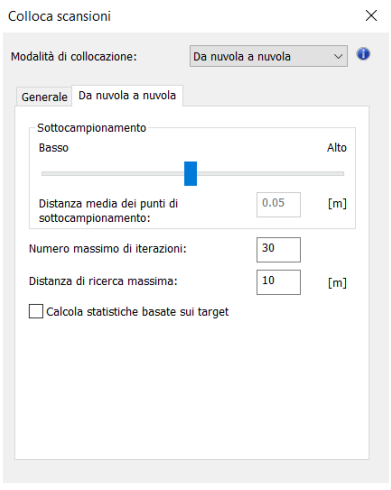


Fig.20 Impostazioni di collocazione automatica delle scansioni

A questo punto si effettua l'ottimizzazione della collocazione: la riduzione del rumore compensa l'errore dello scanner spostando i punti alle posizioni statisticamente corrette, generando come risultato una disposizione più uniforme dei punti. Al termine di questa operazione il programma apre una finestra di visualizzazione (Scan Manager) dove viene indicato l'errore minimo, massimo e la sua deviazione. Solo quando il semaforo si colora di verde e l'errore massimo rientra nella soglia 0.003, il risultato ottenuto è considerato soddisfacente, quindi si blocca tramite l'icona che appare nell'area *workspace*.

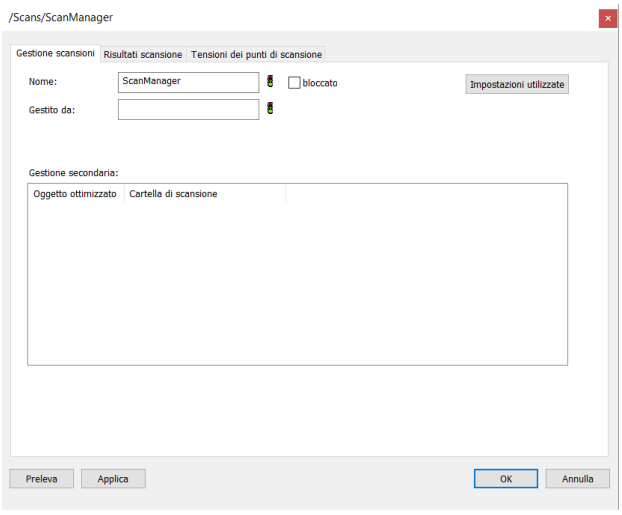


Fig.20 Finestra di dialogo Scan Merger, che indica se i risultati ottenuti con il comando di ottimizzazione della collocazione delle scansioni sono accettabili (semaforo verde)

Lo stesso procedimento è stato applicato per ogni gruppo di scansione.

4. Colorazione

Il *software* SCENE e la fotocamera digitale integrata al sistema di scansione permettono la colorazione automatica delle nuvole di punti generate: a ogni punto è stato associato un colore RGB, che restituisce a livello complessivo una visualizzazione realistica.

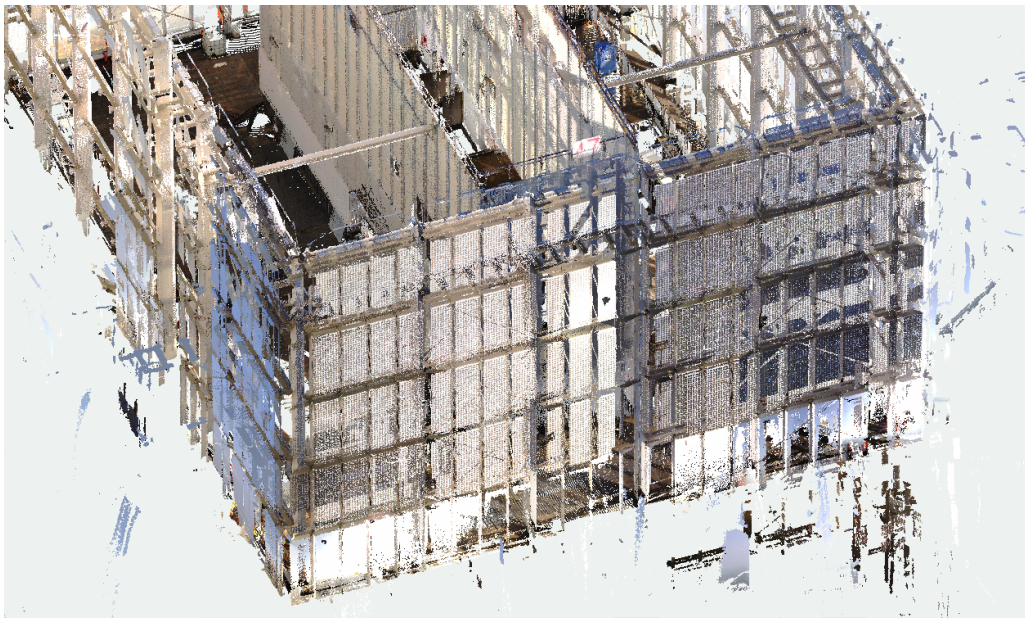


Fig.21 Vista 3D realistica.

5. Ottimizzazione complessiva

Il processo di collocazione e ottimizzazione viene applicato anche a livello globale inserendo tutti i gruppi di scansione in un unico gruppo, Scans5. In questo modo come spiegato precedentemente si esegue il comando di collocazione automatica che viene infine ottimizzato fino a ridurre l'errore massimo sotto la soglia ritenuta accettabile (semaforo verde). Questa volta, trattandosi di 24 scansioni totali, prima di ottenere il risultato desiderato il processo è stato ripetuto più volte.

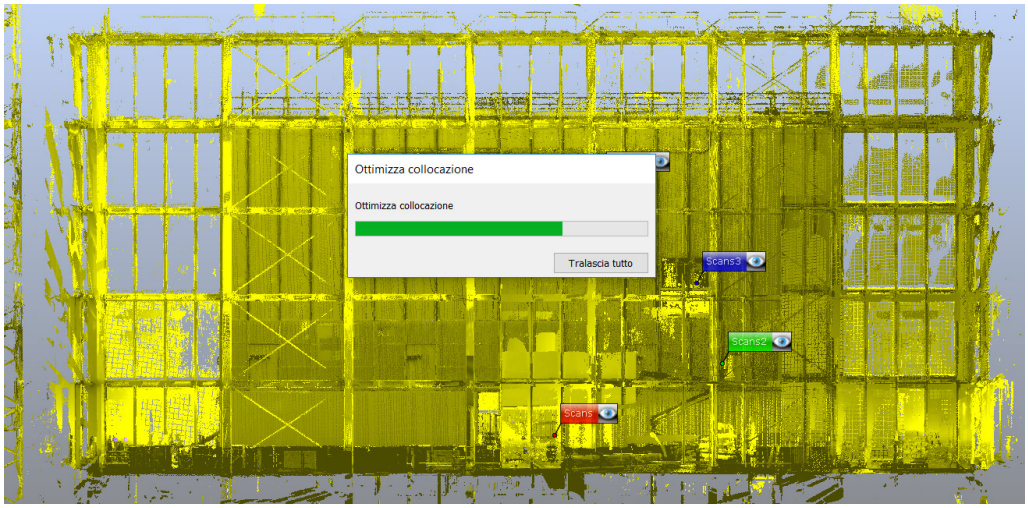


Fig.22 Processo di ottimizzazione

6. Esportazione

L'esportazione dei dati elaborati è stata effettuata passando da una modalità puntuale riferita alle singole scansioni, a quella generale riferita alla nuvola di punti globale:

- come scansioni ordinate: singole nuvole di punti in formato .e57
- come progetto:
  - _nuvole di punti relative a ogni piano, dunque a ogni gruppo di scansione, sia in formato .isproj (SCENE) che .rcp (ReCap)
  - _nuvola di punti totale sia in formato .isproj (SCENE) che .rcp (ReCap)

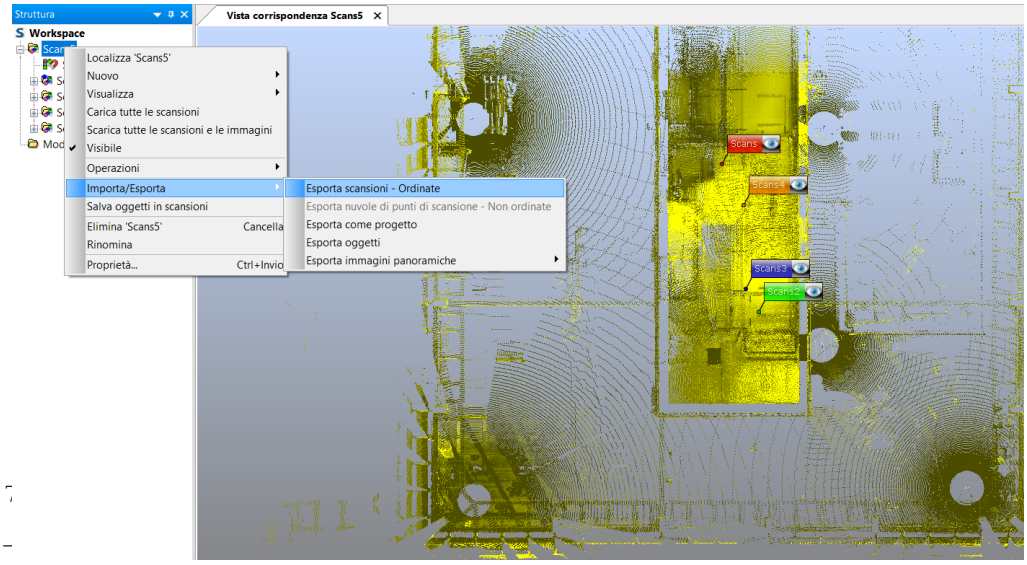


Fig.23 Processo di esportazione

Il software Autodesk ReCap è stato di fondamentale importanza nel processo di gestione delle nuvole di punti per la generazione del modello digitale BIM. Attraverso il suo utilizzo è stato possibile integrare le informazioni derivanti dalle scansioni laser all'interno del software di modellazione Autodesk Revit.
In particolare è stato possibile pulire e trattare in modo intelligente le nuvole di punti già registrate e ottimizzate nelle fasi precedenti, come base per ottimizzare la modellazione.

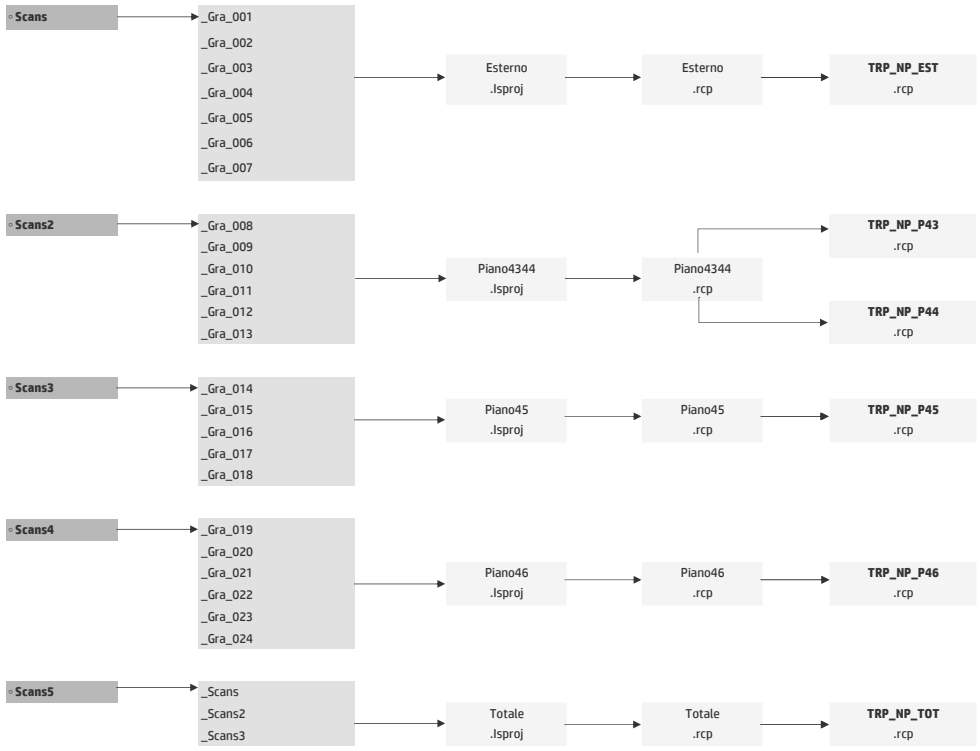


Fig.24 Schema dell'organizzazione dei gruppi di scansione esportati da FARO SCEN

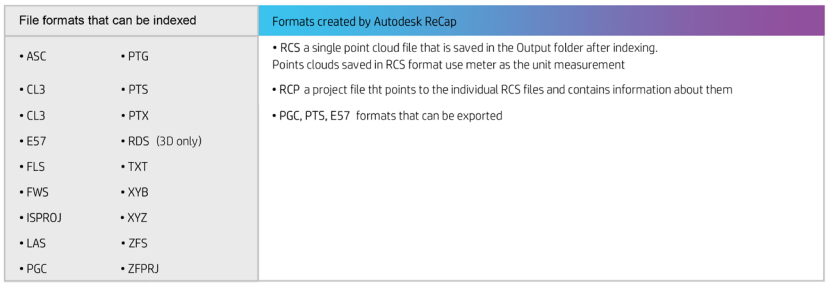
1. Importazione file .rcp

Dapprima ogni file di progetto .rcp, relativo ad un singolo piano, è stato importato all'interno del *software*. In questo passaggio si sono stabilite le impostazioni per una prima fase di ottimizzazione automatica in grado di alleggerire ulteriormente i file. Le modifiche apportate hanno riguardato nello specifico:

- Range della distanza: punti inclusi nella nuvola in base alla distanza di scansione minima e massima dello strumento utilizzato per il rilievo

- Gamma d'intensità: intervallo di punti che vengono importati in base ai valori d'intensità (riflessione).

- Griglia di decimazione: controllo del numero di punti da importare specificando il volume cubico più piccolo che un singolo punto può occupare. Più è basso il valore impostato migliore sarà la qualità della nuvola di punti, ma maggiore sarà anche la pesantezza del file.



File formats that can be indexed		Formats created by Autodesk ReCap
• ASC	• PTG	• RCS a single point cloud file that is saved in the Output folder after indexing. Points clouds saved in RCS format use meter as the unit measurement
• CL3	• PTS	• RCP a project file tht points to the individual RCS files and contains information about them
• CL3	• PTX	• PGC, PTS, E57 formats that can be exported
• E57	• RDS (3D only)	
• FLS	• TXT	
• FWS	• XYB	
• ISPROJ	• XYZ	
• LAS	• ZFS	
• PGC	• ZFPRJ	

Fig.24 Estensioni nuvole di ounti supportate da Autodesk ReCap

2. Pulizia

I fattori di rumore e disturbo, durante la fase di acquisizione dati, generano solitamente oggetti distorti e non conformi alla realtà o nel peggiore dei casi oggetti irreali, una problematica che viene attenuata attraverso la loro identificazione ed eliminazione.

La pulizia è una fase molto importante di post-elaborazione dati per la preparazione dell'intero processo *SCANtoBIM*, poiché questo risultato incide direttamente sull'efficacia del riconoscimento degli oggetti dalla nuvola di punti e la loro trasformazione in modello 3D.

Questa operazione è stata eseguita manualmente eliminando dalla nuvola i principali elementi di disturbo e i punti indesiderati catturati inavvertitamente mentre si trovavano sul campo. Nel nostro caso, essendo ancora in fase di cantiere, gli oggetti identificati sono stati principalmente persone, macchinari e attrezzatura da lavoro. Inoltre, in relazione all'ambiente esterno, gran parte degli errori sono stati provocati dalla trasparenza delle pareti vetrate (curtain wall) a chiusura di tutti e quattro i lati della corte.

ReCap ci ha permesso di creare una regione dedicata chiamata cleaned, contenente tutti i punti da nascondere nel risultato finale. In questo modo è stato possibile non solo ottimizzare il risultato ottenuto ma anche ridurre le dimensioni del file.

3. Organizzazione

Facendo riferimento all'obiettivo finale della nuvola di punti, si è deciso di migliorare le prestazioni dell'*output* creando un sistema di gestione delle nuvole di punti attraverso la suddivisione in regioni di scansione. In questo modo è stato possibile filtrare il contenuto e veicolare la visualizzazione in base a diverse configurazioni mantenendo attive solo le regioni necessarie, come meglio descritto nelle successive fasi di modellazione BIM.

L'immagine della nuvola di punti del singolo piano è costituita da diversi file di scansione, dunque le regioni create si estendono sulle diverse scansioni contenute all'interno del progetto. Tuttavia, le regioni non possono sovrapporsi, ogni punto appartiene ad un'unica regione, identificata da una colorazione diversa.

La creazione delle regioni di scansione, che si possono attivare e disattivare per nascondere temporaneamente parti della nuvola, è stata organizzata seguendo la gerarchia dei modelli Revit per discipline:

- Architettonico – ARC – riferito a tutte le componenti che costituiscono l'involucro edilizio, individuando nel caso specifico: scale, ringhiere, porte e tramezzi;

- Strutturale – STR – riferito a tutti gli elementi strutturali tra cui: muri portanti e solai (risultanti dal rilievo laser come due superfici la cui distanza identifica lo spessore del solaio, per questo motivo divi in due regioni distinte, pavimento e soffitto);

- Impiantistico – MEP – in questa disciplina sono stati raggruppati in un'unica regione tutti gli impianti a scala multidisciplinare, senza ricorrere alla suddivisione per sottocategorie di impianto meccanico, elettrico, idrico ecc. per non incorrere ad un notevole aumento delle tempistiche di restituzione dati e appesantire ulteriormente i file.

4. Salva ed esporta

Una vola terminata la fase di organizzazione in regioni è stata avviata l'operazione di salvataggio per ogni piano seguendo uno schema ben preciso:

- file di progetto .rcp – ReCap Project - salvato per ogni piano associato a ogni disciplina, contenente tutte le regioni di scansione rispettive. Un file relativamente piccolo che fa riferimento ai singoli file .rcs ma non li contiene (per poter utilizzare un file di progetto, è necessario che i file .rcs siano disponibili).

- file singolo .rcs – ReCap Scan – esportato per ogni regione relativa alle varie discipline, mantenendo l'impostazione predefinita delle singole scansioni divise, indicizzate durante il processo d'importazione.

Metodo 2: Laser scanner mobile ZEB-REVO di GeoSLAM

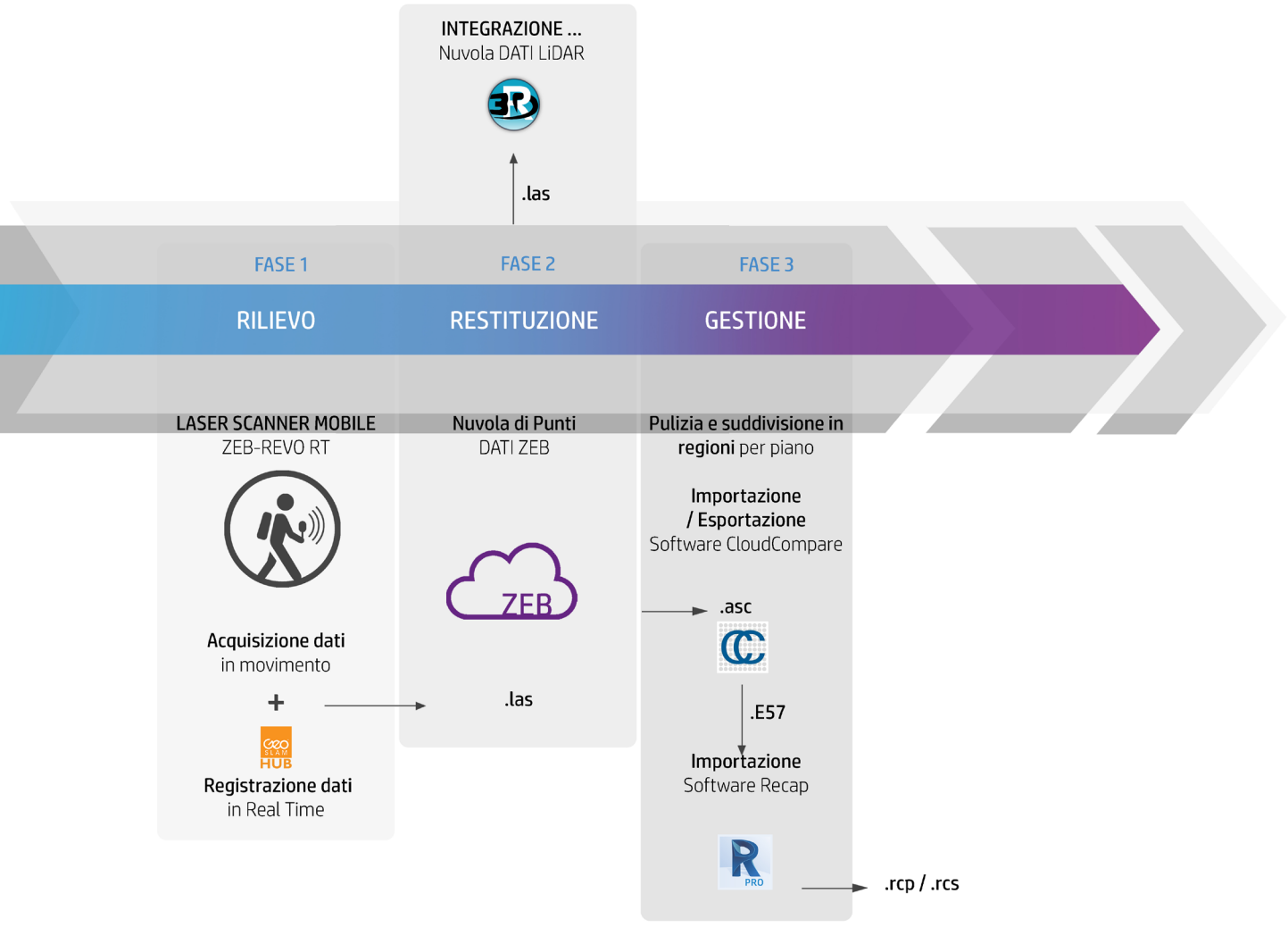


Fig.25 Diagramma di flusso del processo di elaborazione dei dati acquisiti con laser scanner GeoSLAM

ZEB-REVO RT

Di seguito si descrive la procedura di rilievo con il sistema mobile mapping GeoSLAM ZEB-REVO RT e la metodologia seguita, dalla raccolta dei dati di scansione fino a come scaricare i risultati attraverso il *software* GeoSLAM Hub per le successive fasi di post-elaborazione.

PREPARAZIONE DELLO STRUMENTO

Prima di procedere con l'esecuzione del rilievo è stato necessario collegare le diverse componenti che costituiscono il sistema di scansione, essenzialmente lo strumento di scansione portatile e l'unità di elaborazione dati. In questa fase di preparazione è di fondamentale importanza la calibrazione automatica dello strumento, eseguita su una superficie piana nel giro di pochi secondi.
Infine, è stata impostata la comunicazione con l'intero sistema ZEB-REVO RT tramite l'uso di un dispositivo abilitato al web, in questo caso un tablet con connessione wireless, per permettere il controllo costante dei risultati durante il processo di scansione.

ACQUISIZIONE DATI

Il processo raccolta dati utilizzando il sistema di scansione ZEB-REVO RT si è rivelato decisamente semplice è veloce perché altamente automatizzato. Tuttavia, è stato necessario prestare costante attenzione per garantire una buona riuscita dei dati raccolti durante i percorsi di scansione e permettere una corretta elaborazione simultanea della nuvola di punti grazie all'esclusivo algoritmo SLAM.
L'inizializzazione del sistema di rilevazione avviene tramite il tablet: premuto il tasto start sulla schermata di visualizzazione GeoSLAM si avvia, in circa 10 secondi, il meccanismo di rotazione della testina dello scanner per procedere con la fase di scansione.
Il requisito minimo di questo metodo è "close the loop", chiudere il ciclo, ossia terminare il rilevamento nella stessa posizione da cui si è partiti. Passando la seconda volta in una posizione già nota, l'errore prodotto nella fase di elaborazione del dato viene distribuito nella nuvola di punti finale. Questo è possibile grazie al principio di funzionamento dell'algoritmo SLAM, basato sul metodo analogo Traverse Surveyng che prevede il posizionamento di stazioni di rilevamento lungo una linea o un percorso di viaggio, e quindi utilizzando i punti precedentemente rilevati come base per analizzare il punto successivo.

Nel nostro caso, per evitare file di dimensioni molto grandi e fornire una buona descrizione dell'intero spazio sia interno che esterno, tenendo conto delle dimensioni e delle caratteristiche geometriche degli spazi, il percorso d'indagine proposto è stato eseguito in 4 scansioni distinte:

- Scansione 1
- Scansione 2
- Scansione 3
- Scansione 4

Fig.26 Fase preliminare di preparazione dello strumento ZEB REVO RT di GEOSLAM

Fig.27 Fase di acquisizione dati con lo strumento ZEB REVO RT di GEOSLAM

Fig.28 Fase di acquisizione dati - chiusura del ciclo di scansione - con lo strumento ZEB REVO RT di GeoSLAM .

Fig.29 Fase di acquisizione dati con lo strumento ZEB REVO RT di GEOSLAM - interno - piano 46.

A livello generale, per garantire una buona copertura e un'alta risoluzione dei dati, ogni scansione è stata eseguita a passo d'uomo lento, entro un massimo di 30 minuti e una distanza che varia dai 1000 ai 3000 m.
In particolare, si è prestata particolare attenzione:
- ai passaggi da un ambiente all'altro, soprattutto in relazione ai punti di passaggio come le porte dove e agli spazi ristretti con stretto raggio di curvatura dove è stato necessario procedere più lentamente e assicurarsi che lo scanner prendesse entrambe i lati
- agli spazi interni ad uso tecnico, quindi caratterizzati dalla presenza di elementi impiantistici, causa di eventuali errori di disallineamento nei punti di transizione
- ai passaggi di entrata e uscita tra l'ambiente interno, ricco di funzionalità, e l'ambiente esterno più semplice e regolare
- a evitare la troppa vicinanza alle pareti e ai soffitti
- a evitare di scansionare oggetti o persone in movimento, ma soprattutto a non farli avvicinare per evitare rumori che influisco sul risultato finale.
Questo è stato possibile grazie al grande vantaggio dello strumento di visualizzare in tempo reale l'andamento della scansione: è descritto l'intero percorso di chi sta eseguendo il rilievo evidenziato da una linea continua, che compare sulla schermata di visualizzazione, man mano che si procede fino alla chiusura nel punto iniziale. Tramite l'applicazione GeoSLAM, attiva sul tablet connesso allo scanner, la visualizzazione è consentita secondo due modalità:
- la vista 2D che si configura come la pianta del pavimento, ossia l'immagine orizzontale della nuvola di punti tagliata all'altezza della traiettoria di scansione
- la vista 3D che descrive lo spazio scansionato nelle sue caratteristiche tridimensionali e consente di navigare la nuvola nella sua interezza.

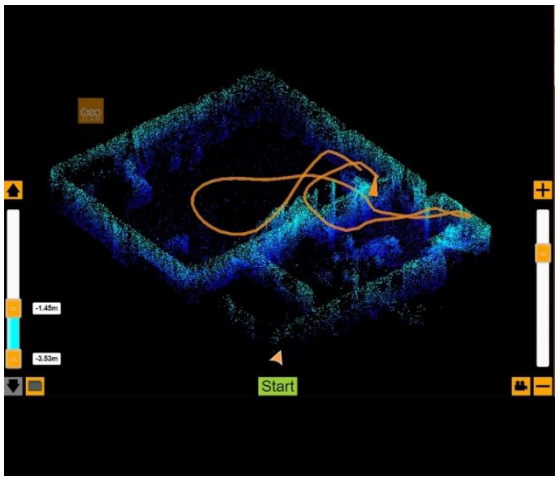


Fig.30 Modalità di visualizzazione 3D del percorso di scansione Screenshot eseguito durante il rilievo

Una volta terminata l'operazione di rilievo si è tornati al punto di partenza, riponendo lo scanner nella stessa posizione utilizzata per la fase d'inizializzazione. In questo caso con il tasto stop si blocca la rotazione dello strumento e il display indica il processo di ottimizzazione globale in corso. Concluso questo processo si è avviata

la scansione successiva, fino al raggiungimento delle 4 scansioni. Solo a questo punto lo scanner è stato spento.
A questo punto, è stato possibile visualizzare l'anteprima della nuvola di punti risultante da tutte le scansioni eseguite, in visualizzazione ombreggiata (grigia), e il browser contenente tutti i file di scansione. I file *output* generati dal sistema REVO RT corrispondono ad un file di anteprima decimato .ply e un file completo .geoslam., disponibile per le fasi di post-elaborazione tramite l'applicativo GeoSLAM Hub.

RIELABORAZIONE DATI

I dati ottenuti sono stati importati in GeoSLAM Hub per attuare un controllo automatico e correggere e minimizzare gli eventuali errori di scansione risultanti dalla prima elaborazione, simultanea al processo di acquisizione.
Inoltre, per poter allineare e unire le diverse scansioni è stata utilizzata la funzione data set merger, preceduto da un allineamento manuale grossolano per permettere all'algoritmo di funzionare al meglio. La cartella dei dati *output*, generata automaticamente, contiene i file in formato .las mantenendo divise le singole scansioni.
Come descritto successivamente, questi file sono stati importati nel *software* 3D Reshaper e utilizzati per l'integrazione con i dati LiDAR.

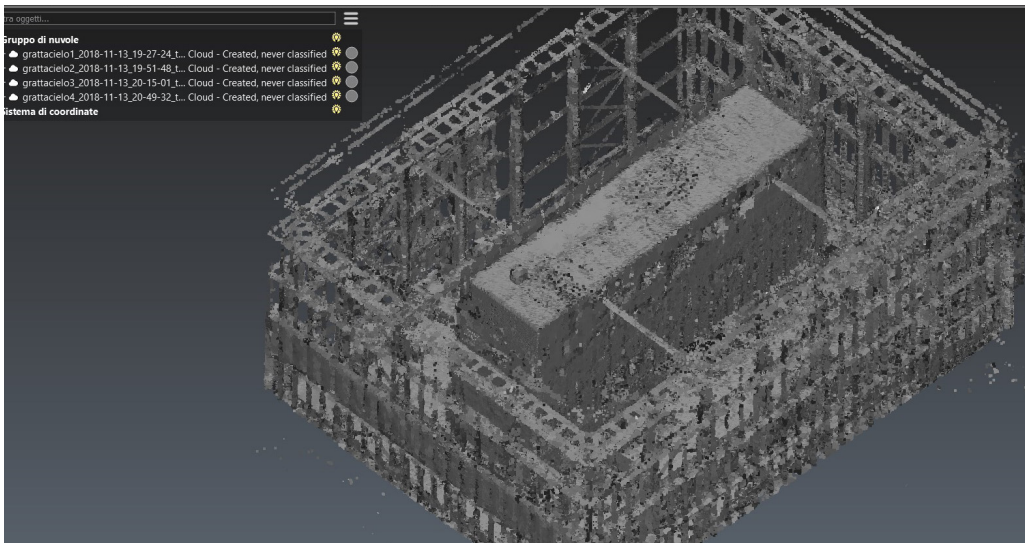


Fig.31 Nuvola di punti Zeb-REVO ottenuta e visualizzata nel Software 3DReshaper.

INTEGRAZIONE DELLE NUVOLE DI PUNTI

La strategia di lavoro adottata, nonostante l'efficacia e le potenzialità dei risultati ottenuti dai singoli strumenti, prevede che questi non siano trattati in modo indipendente, mettendoli in competizione tra loro, bensì come l'uno il completamento dell'altro.
A tale proposito i metodi di rilievo analizzati precedentemente in modo parallelo dall'acquisizione alla restituzione dei dati, vengono di seguito trattati in modo complementare. Si è deciso di sovrapporre e fondere i dati per aumentare in modo evidente la qualità del risultato restituito, in termini di precisione puntuale e di accuratezza complessiva. In questo caso, la diversità delle informazioni derivanti da fonti e strumenti differenti diviene un punto di forza per colmare le

lacune del singolo dato e garantire un livello di dettaglio maggiore e definito.

Il processo d'integrazione sperimentato è stato finalizzato, infatti, al raggiungimento del miglior risultato possibile e alla conseguente ottimizzazione della fase di modellazione 3D.
Per rendere compatibili le nuvole di punti ottenute dalle due tecniche di rilievo sperimentate e poterle gestire contemporaneamente durante la fase di modellazione, è stato necessario integrarle in un unico sistema di riferimento. Nel caso studio specifico si è scelto di mantenere un sistema locale, e non georeferenziato, poiché questo tipo di rilievo è stato eseguito ad uso esclusivo della nostra porzione di edificio. La nuvola dalla quale sono state acquisite le coordinate di riferimento del sistema locale generato è quella basata sui dati Lidar.

A questo scopo è stato utilizzato il *software* 3D Reshaper.

SOFTWARE 3D RESHAPER
Software dedicato all'elaborazione di nuvole di punti provenienti da qualsiasi tipo di tecnica a scansione laser, che offre molteplici strumenti e funzioni per le operazioni di processamento, mappatura di immagini e confronto tra superfici.
Il suo facile utilizzo, la capacità di gestire molte tipologie di file indipendentemente dalla loro origine e dalle loro dimensioni ha permesso la perfetta integrazione nel flusso di lavoro seguito in questa tesi.

Inoltre, gli strumenti di registrazione che permettono di allineare modelli derivanti da diversi strumenti e la possibilità di costruire un sistema di coordinate coerente e condiviso, sono stati i fattori principali per la buona riuscita del processo d'integrazione tra la nuvola proveniente dai dati Lidar e quella dai dati ZEB.
Le operazioni di gestione e trattamento dei dati, sotto descritte, seguono la volontà di creare un ambiente di lavoro congiunto e integrato capace di mettere a sistema i due prodotti risultanti dalle tecniche di rilievo applicate.

1. Importazione
Il primo step ha riguardato l'impostazione dell'ambiente di lavoro all'interno del quale sono state inserite le due nuvole di punti: la prima relativa alla tecnologia LIDAR e la seconda relativa alla tecnologia SLAM.

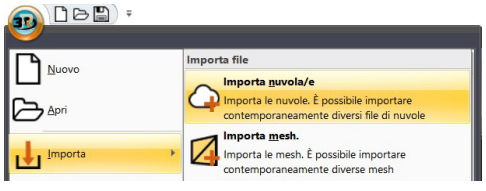


Fig.32 Comando importa nuvola 3D Reshaper

Nel primo caso le scansioni (in totale 24) sono state importate in formato .e57, poi uniti all'interno di un gruppo di nuvole chiamato Nuvola LIDAR.

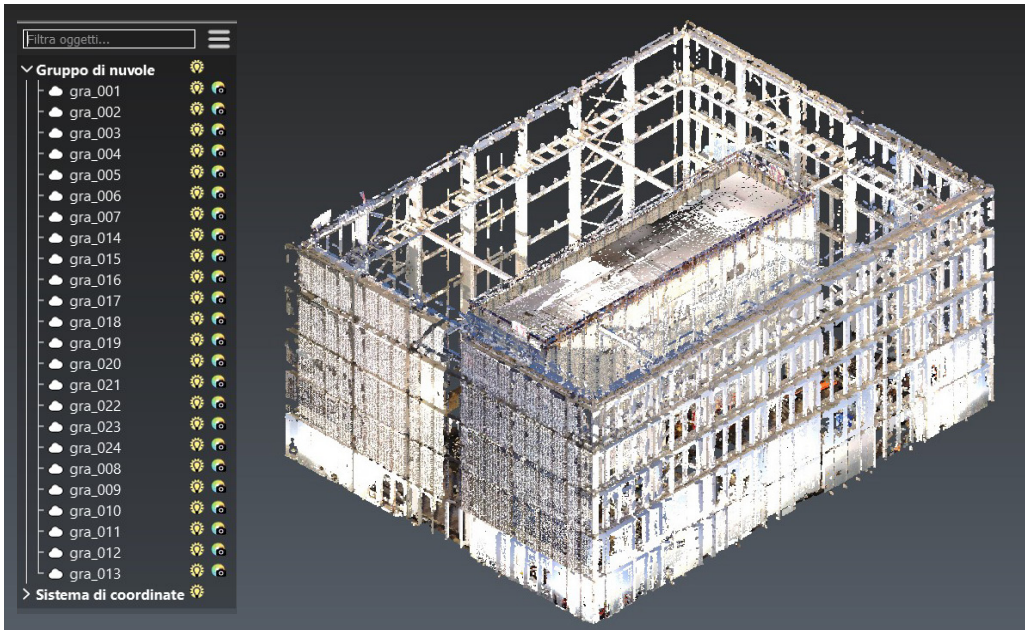


Fig.33 Nuvola di punti LIDAR importata nel Software 3DReshaper

Nel secondo caso invece i dati, elaborati con il sistetema GeoSLAM, sono stati importati in formato .las e come nel caso precedente raggruppati in un unico gruppo di nuvole questa volta nominato ZEB (dallo strumento utilizzato ZEB-REVO).

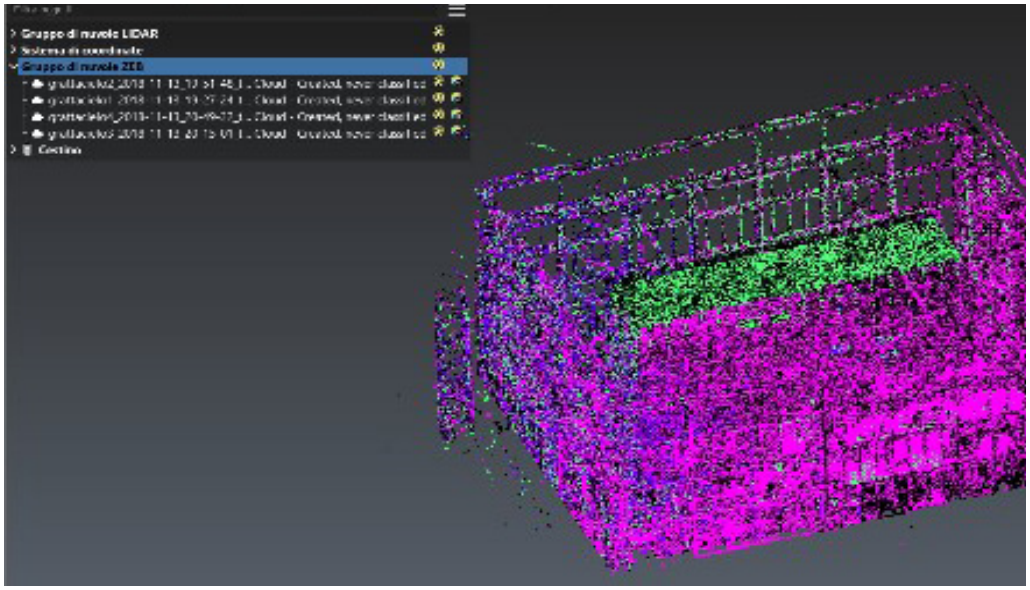


Fig.34 Nuvola di punti ZEB importata nel Software 3DReshaper

2. Filtraggio

Prima di procedere alle fasi successive è stato necessario eseguire una prima operazione di filtraggio per non incorrere a problemi di elaborazione e processamento dovuti alle grandi dimensioni del file contenente entrambe le nuvole.

La funzione dedicata – Filtra – analizza la densità totale dei punti,

e in rapporto a questa permette di impostare la percentuale del numero di punti da mantenere.

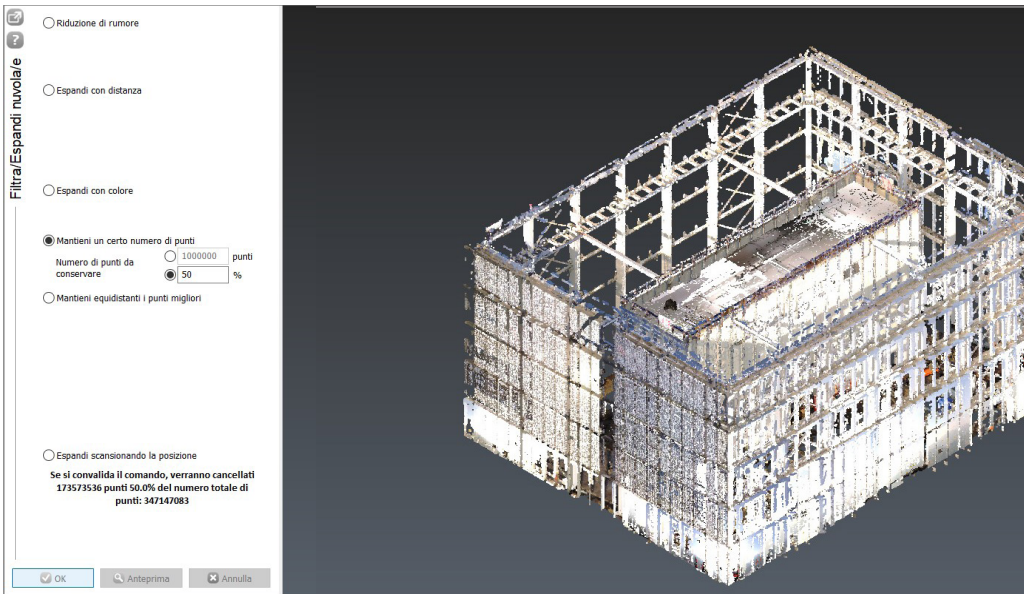


Fig.35 Comando filtra nuvola di punti, applicato ai dati LIDAR

Questo comando è stato eseguito esclusivamente sulla nuvola LIDAR, che essendo caratterizzata da un grado d'informazione più preciso e dettagliato appesantiva il file limitando le funzionalità del *software*. In questo modo la dimensione del file è stata dimezzata, passando da circa 6 Gb iniziali a 3.

3. Allineamento e acquisizione coordinate

Determinata la nuvola di punti LIDAR come l'oggetto veicolante per la condivisione del sistema di coordinate locale con la nuvola ZEB – oggetto veicolato – è stata avviata la fase di registrazione delle due nuvole.

La prima fase è stata eseguita tramite il comando - allineamento migliore di N punti – che ha previsto la selezione di N punti di partenza, cioè riferiti all'oggetto in movimento, e N di arrivo relativi all'oggetto fisso.
Nel caso specifico la nuvola di punti ZEB, evidenziata in rosso nella figura, è stata selezionata come oggetto in movimento durante l'allineamento.

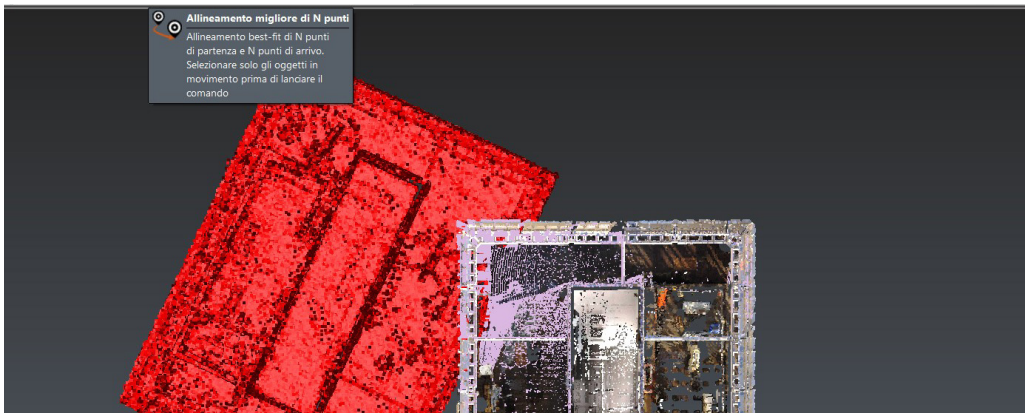


Fig.36 Allineamento migliore di N punti

A questo punto sono stati selezionati i punti comuni tra le due nuvole, utilizzando come riferimento elementi facilmente riconoscibili: gli spigoli interni ed esterni del perimetro a descrizione del nucleo centrale.

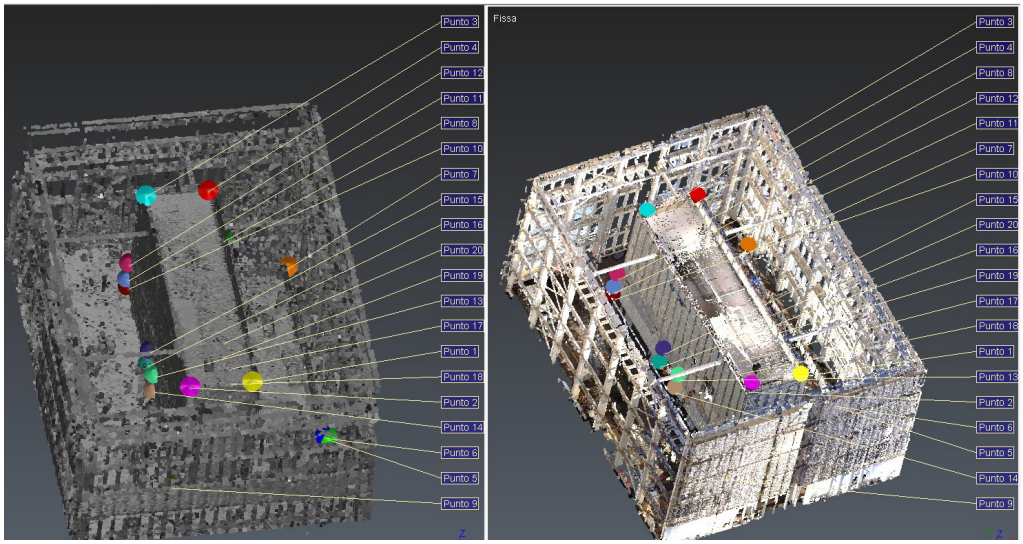


Fig. 37 Selezione punti comuni

Terminata la selezione dei punti si è effettuata una prima verifica risultante dall'anteprima dell'allineamento. In base ai valori ottenuti sono stati eseguiti più tentativi di selezione manuale per ridurre, per quanto possibile, il discostamento massimo tra le coppie di punti. In questo modo il risultato finale ottenuto ha riportato un valore di distanza massima intorno di 0.585 (coppia di punti n°15).

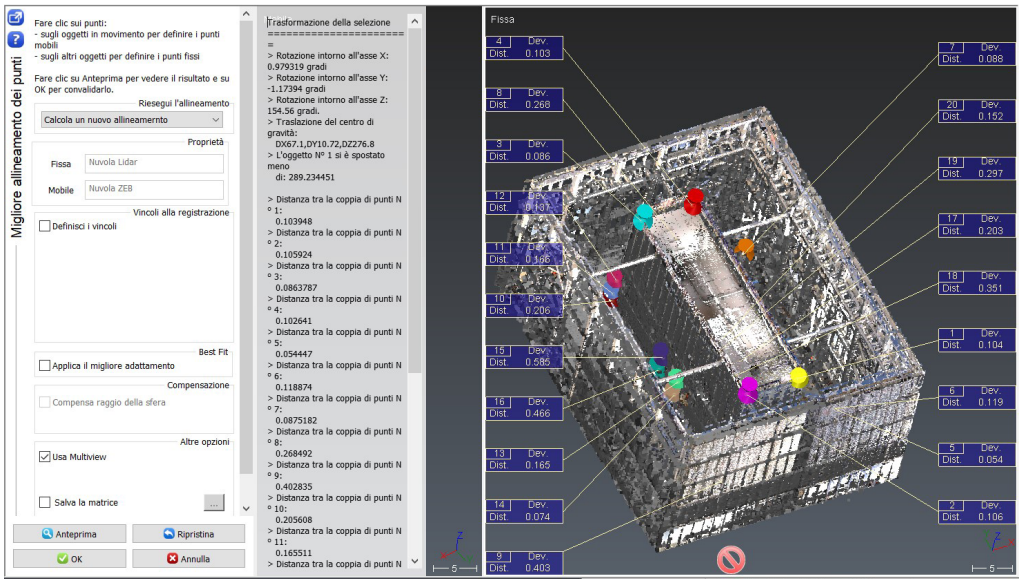


Fig. 38 Risultati dell'allineamento migliore di punti selezionati

La seconda fase riguarda la registrazione best-fit: un comando di adattamento automatico applicato agli oggetti selezionati. Come risulta visibile nella figura di seguito sono state selezionate entrambe le nuvole.

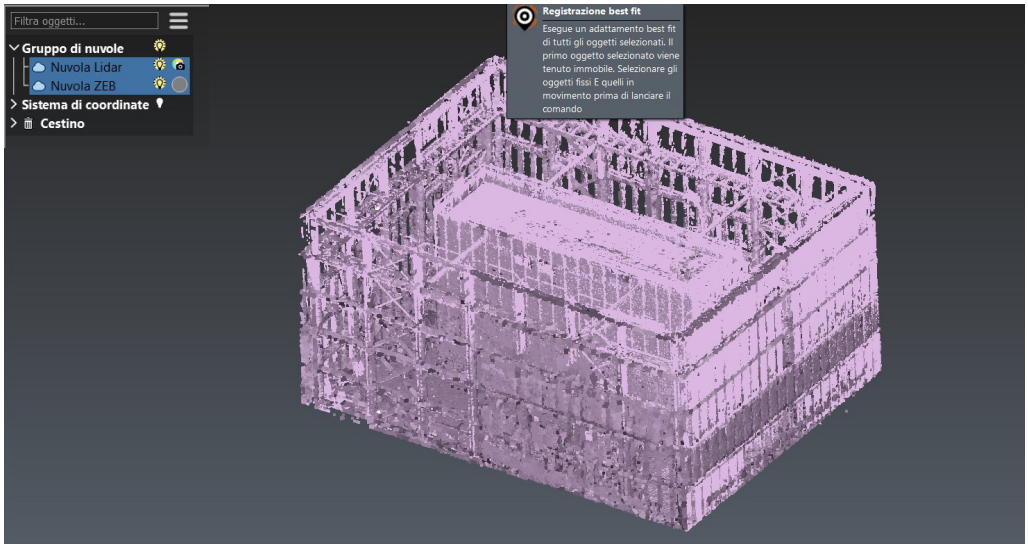


Fig.39 Comando di registrazione best-fit

Nelle impostazioni di esecuzione è stato scelto il tipo di best-fit basato su un oggetto fisso, che anche in questo caso coincide con la nuvola LIDAR.
L'esito finale della registrazione automatica ha permesso, in questo modo, di migliorare ulteriormente la sovrapposizione della nuvola ZEB. In riferimento alla posizione precedente l'oggetto è stato spostato meno di 0.059.

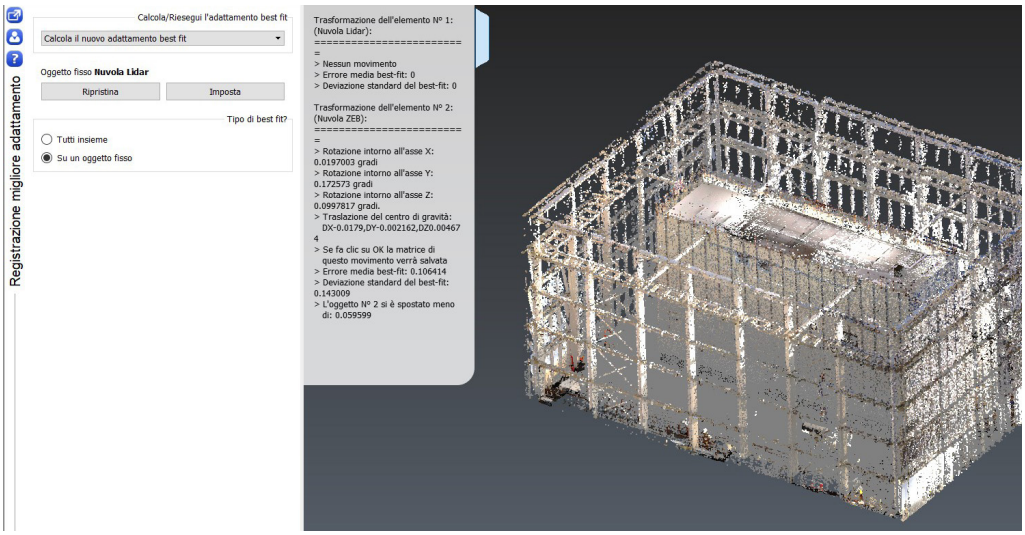


Fig.40 Risultati della registrazione automatica best-fit

4. Confronto

In questo passaggio è avvenuta l'effettiva verifica del risultato finale ottenuto. Il comando dedicato – Confronta/Ispeziona – permette di confrontare le due nuvole attraverso una mappa colorata.

L'obiettivo finale della verifica è quello di valutare il grado di precisione della sovrapposizione della nuvola ZEB alla nuvola LIDAR. La nuvola ZEB è, dunque, l'oggetto di analisi che appare colorato al termine dell'ispezione.
Al fine di ottimizzare l'intero processo di analisi, la distanza massima tra i punti ritenuta accettabile per poterli considerare è pari a 0.81.

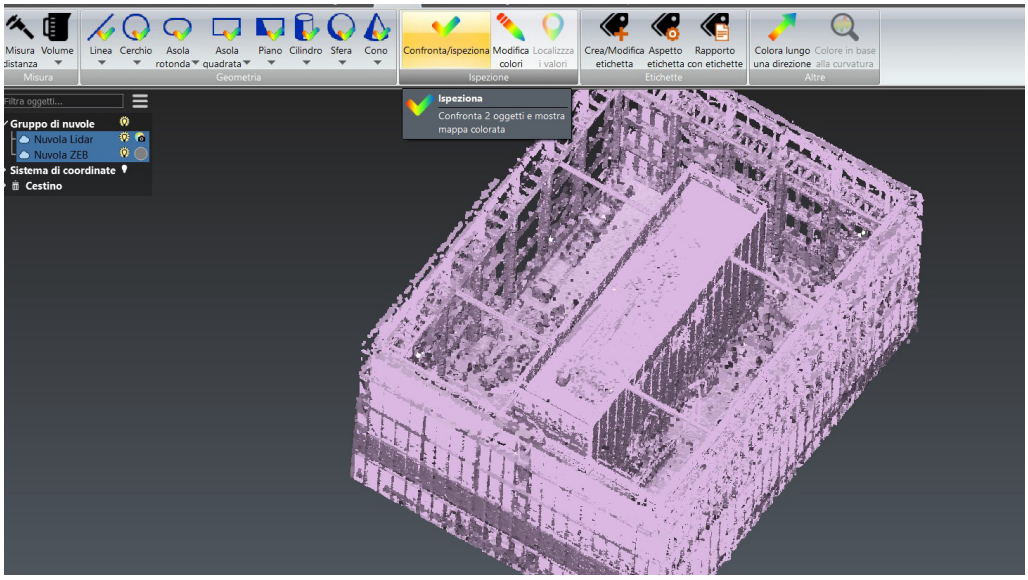


Fig.41 Comando di confronto e ispezione

Avviato il comando sono state necessarie parecchie ore per l'elaborazione del grafico finale. La sua restituzione appare direttamente nell'ambiente di lavoro sotto la categoria gruppo di misura - con il nome confronta nuvola ZEB/Nuvola Lidar - viene quindi salvata automaticamente all'interno del file e può essere visualizzaa in qualsiasi momento.
In riferimento al range ritenuto accettabile, come appare evidente in figura dalla prevalente colorazione verde, il lavoro svolto risulta estremamente preciso per il 95.4% dei punti che costituiscono la nuvola. Al contrario, il grado di precisione si riduce in tutte le zone dove è evidente una mancanza di dati causata dal minor grado di dettaglio raggiunto dalla scansione ZEB. Altro fattore che incide sul risultato è il tipo di elemento rilevato, le pareti vetrate esterne, essendo superfici trasparenti, sono la causa di una restituzione falsata dei dati e del conseguente errore di sovrapposizione tra le due nuvole. Gli elemeni che si contraddistinguono per la colorazione blu e rossa, che indica uno scostamento maggiore tra un punto e l'altro, corrispondono in prevalenza alle parti alte dell'ambiente rilevato.

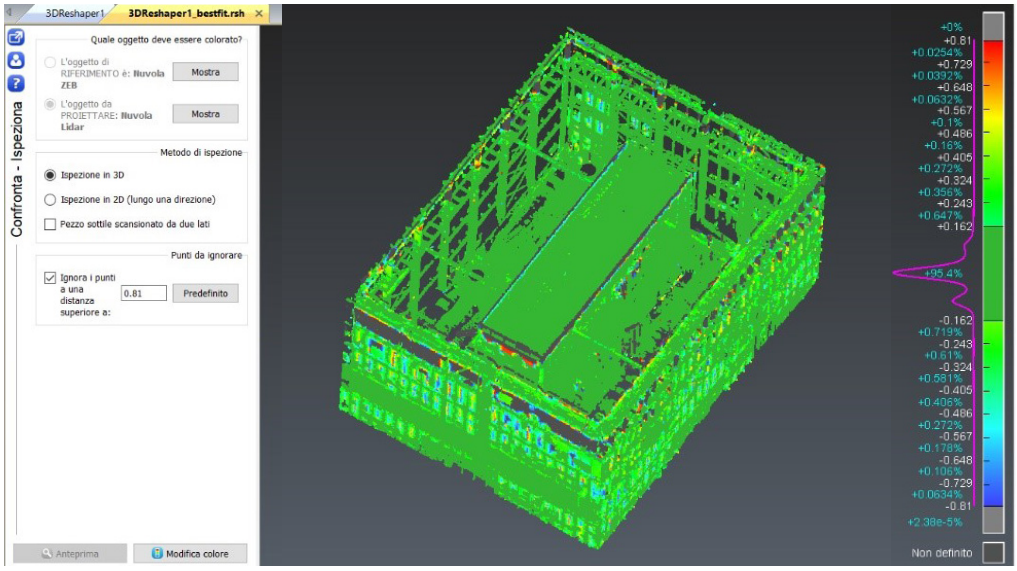


Fig.42 Grafico di confronto tra la nuvola ZEB e la nuvola LIDAR

2.2 RESTITUZIONE DATI: dalla nuvola di punti alla modellazione BIM

Il BIM è una metodologia di lavoro che tramite una rappresentazione virtuale dell'edificio ne descrive le informazioni. Questo nuovo orientamento spinge verso una radicale trasformazione rispetto al tradizionale metodo di lavoro basato su correzioni e integrazioni. Al giorno d'oggi la ricerca di questa nuova metodologia si interroga su come ricavare elementi distinti e precisi, in ambito edilizio, partendo da un rilievo che comporta acquisizione e successiva rielaborazione di una nuvola di punti. Questo approccio è per ora in una fase elementare, necessita di una rilevante mole di calcolo, e non sempre è in grado di individuare gli oggetti ad un LOD ammissibile, e soprattutto questa modellazione non entra nel merito della semantica degli elementi ma si limita nella distinzione di volumi e superfici rimanendo in ambito prettamente geometrico.

Il BIM nasce principalmente dall'esigenza di integrare alla progettazione del nuovo un bagaglio di informazioni che nella metodologia tradizionale non era possibile ottenere sin dal primo momento.
Uno dei vantaggi del *software* è la gestione delle fasi di progetto, ossia progettare direttamente da una fonte reale, preparando in questo modo tutte le informazioni inerenti alla realtà direttamente nel modello.

Altre metodologie si basano ad esempio sull'identificazione di textures, prodotte dalla nuvola di punti, confrontate con dei database per poter analizzare e individuare elementi architettonici simili, o geometrie aventi la stessa funzione sempre messe a confronto con database che non possono comprendere tutto l'ambito esistente, seppure ben forniti. In questa tesi si è studiato come realizzare un modello BIM di un edificio esistente, seguire il suo percorso vitale, includendo la sua gestione e il mantenimento, utilizzando come base la nuvola di punti. In questo caso, la progettazione non è iniziata da un modello vuoto, ma si è utilizzato come principio un modello basato appunto su un rilievo della realtà, creando cosi un collegamento diretto tra ciò che davvero esiste e ciò che si vuole costruire.

Attualmente, quando si decide di modellare avendo come dato *input* la nuvola di punti, la maggior parte del lavoro di riconoscimento degli oggetti - architettonici, strutturali e impiantistici - è a carico dell'operatore, e avviene in modo manuale attraverso l'ausilio di *software*, e conoscenze personali; solo in questo modo si ha la certezza di riportare la semantica dal reale al digitale.

2.2.1 Gestione integrata

Un aspetto fondamentale nell'ambito del *Building Information Modeling* è la condivisione delle informazioni e la loro gestione. La modellazione BIM, infatti, favorisce l'introito di informazioni e dati provenienti da utenti con diverso background culturale, in modo da permettere l'ottenimento di differenti risultati richiesti tramite gli opportuni mezzi in modo da avere una collaborazione tra tutti i componenti del team e non singole operazioni a senso unico. Questo nuovo modo di interpretare la progettazione è un concetto che spesso risulta essere di difficile comprensione: si ha una trasformazione del progetto che passa dall'essere lineare a circolare. Tradizionalmente qualsiasi modifica comportava un passo indietro nel lavoro rischiando una duplicazione dei file, che nel momento dello scambio probabilmente non possedevano le informazioni aggiornate, ma con l'avvento del BIM qualsiasi intervento può essere effettuato in tempo reale.

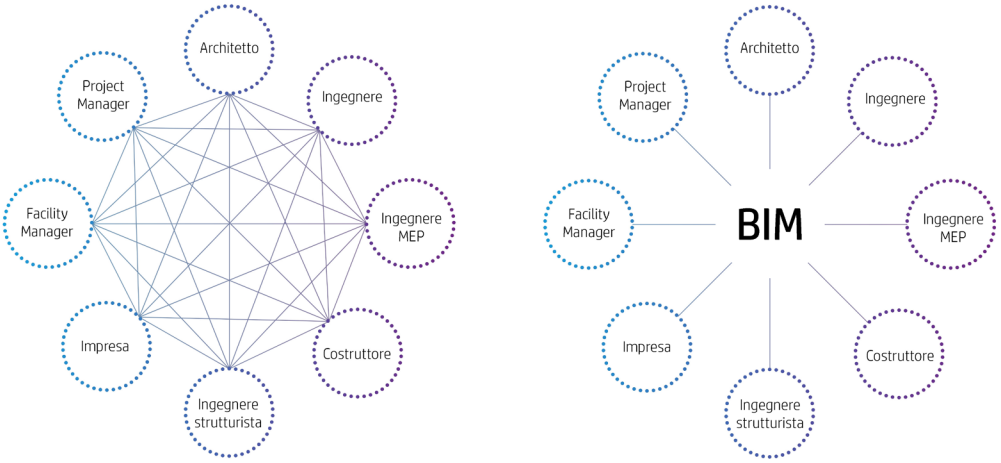


Fig.43 Confronto tra lo scambio di dati nel processo tradizionale, a sinistra, e quello che consente il BIM, a destra

Utilizzando piattaforme BIM non occorre duplicare il modello: se lo si suddivide per discipline e lo si organizza in un file centrale, è possibile mantenerlo aggiornato riducendo notevolmente la possibilità di incorrere in errori durante la modellazione.

Esistono due tipologie di dati utilizzabili durante la trasmissione delle informazioni, che possono variare la qualità dell'informazione trasferita: i formati proprietari dei *software* stessi e i formati *open*. L'IFC – *Industry Foundation Classes* – è un particolare formato aperto, non controllato da un singolo produttore *software*, nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari operatori. Ha lo scopo di consentire l'interscambio di un modello informativo senza perdita o distorsione di dati o informazione. [16]

[16] Formato file IFC, caratteristiche, vantaggi e legame con il BIM. http://biblus.acca.it/focus/ifc-cose-e-quali-sono-i-vantaggi/

Per lo sviluppo di questa tesi si è scelto di non adoperare formati di scambio di tipo *open*, poiché tutti gli utenti coinvolti nel progetto hanno modellato utilizzando il *software* Autodesk Revit creando file in formato .rvt, in modo da rendere la condivisione semplice e diretta.

"L'implementazione del BIM deve però attuare un change management che ottimizzi i processi, integrando nuove metodologie, nuove tecnologie e nuove competenze. Operativamente, seguendo il percorso procedurale delle PAS 1192:2, è necessario individuare le esigenze del committente (OIR) tradurle nei Requisiti Informativi di Committenza (EIR) e definire le modalità di rappresentazione del modello digitale (AIM) unito alla sua componente informativa alfanumerica (CDE)". [17]

[17] Implementazione del BIM.
Fulvio Re Cecconi, Giuseppe Martino Di Giuda, Sebastiano Maltese, Valentina Villa, *Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari: Linee guida, livelli di dettaglio informativo grafico (LOD) e alfanumerico (LOI)*, Hoelpi, 2017

L'assegnazione dei ruoli degli *stakeholder* coinvolti nel processo lavorativo viene assegnata nel momento successivo all'analisi dei processi tradizionali, in base agli *input* a disposizione e degli *output* richiesti dalla committenza. Tutti i protagonisti coinvolti hanno l'incarico di svolgere il lavoro secondo criteri meticolosi all'interno di un entourage collaborativo messo in relazione a database esterni. Questo è uno dei primi passi da effettuare per ottenere una pianificazione corretta e ben organizzata in modo da render chiari gli obiettivi finali del modello ottimizzare il flusso lavorativo.

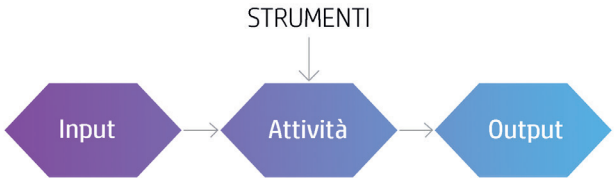


Fig.44 Schema gestionale

In riferimento all'ambito di lavoro in analisi, si è scelto di utilizzare una condivisione basata su link, costituita da un modello di onnicomprensivo coordinamento principale al quale sono stati linkati all'interno i file centrali di ciascuna disciplina.

Quindi per quanto riguarda la parte impiantistica sono stati creati dei files Revit di coordinamento vuoti in cui vengono linkati, tramite la funzione associazione, i relativi files divisi per comparti di piano, in modo tale da ottenere nello stesso file tutti i piani della Torre. Ciascuno di essi possiede al proprio interno il file Revit contenente tutti i CAD. Una volta creati, assieme a quelli della disciplina strutturale e architettonica, vengono linkati nel file di Revit vuoto di coordinamento, il quale ospita tutto l'intero edificio nella sua complessità. Questo file di coordinamento, a differenza degli altri impiantistici, viene utilizzato per eseguire livelli di verifica differenti secondo quanto descritto nella normativa UNI 11337.[18]

[18] Gestione modelli
Tesi di Laurea - Sviluppo di standard finalizzati al processo di modellazione e gestione dei dati attraverso la metodologia BIM.
Alice Morabito

Poiché il lavoro svolto pe lo sviluppo della tesi è orientato all'automatizzazione della modellazione tramite la nuvola di punti, solo le discipline da noi trattate – architettonico, strutturale e meccanico - possiedono al loro interno il collegamento con il file Revit contenente la nuvola di punti rilevata.

Per concludere, è quindi possibile affermare che:
"Lo scopo complessivo del BIM è quello di raccogliere i dati in maniera gerarchica e renderli disponibili ad altri in seguito durante l'intero cliclo di vita di un manufatto, è importante sapere chi ha inserito i dati e in quale sequenza in modo che le persone che dovranno utilizzare l'informazione in un secondo momento abbiano la certezza della sua autenticità e non debbano utilizzare metodi particolari per verificarla". [19]

[19]Scopo del BIM.
Osello. Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, Torino, Dario Flaccovio Editore, 2012

2.2.2. BIM e condivisione

Oggigiorno il livello di modellazione o di impiego del BIM nel processo delle costruzioni interessa in particolar modo il solo stadio di progettazione e la virtualizzazione grafica delle informazioni. È possibile notare, appunto, che per il completamento dei modelli grafici è ancora necessario un uso preponderante di elaborati documentali tradizionali. [20]

[20] Impiego del BIM.
Matteo Giani, Claudio Mirarchi, Alberto Pavan, *BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*, Tecniche Nuove, 2017

Conseguenzialmente questo nuovo approccio al concetto di progettazione e del *Facility Management* ha come fine la sostituzione complessiva degli elaborati tradizionali, ottenendo una rielaborazione digitale interrogabile durante tutto il suo ciclo di vita utile: l'adozione di questa tecnologia comporta un'immediata gestione delle informazioni e un continuo aggiornamento tramite l'interoperabilità tra *stakeholders* e *software* di scambiare materiale informativo.

L'adottamento di questa metodologia è un lavoro di tipo condiviso e cooperativo tra tutte le figure professionali coinvolte nella fase progettuale e successivamente realizzativa. Uno dei primi cambiamenti di metodo nel processo BIM si può individuare nelle richieste del committente il quale ha il compito di comunicare, fin dall'inizio del lavoro, lo scopo e gli utilizzi del modello in modo da prefissare in anticipo i requisiti del modello.

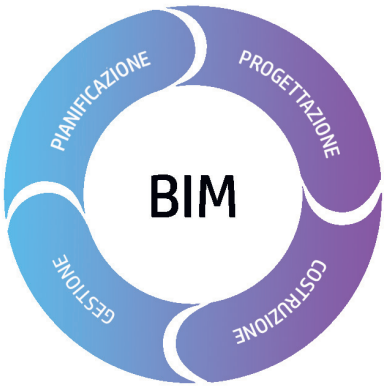


Fig.45 Metodologia del processo BIM

Un obiettivo della tesi è quello di creare un modello BIM che non rappresenti solo l'accurata geometria dell'edificio ma che possieda un database informativo basato su un modello digitale tridimensionale del manufatto. Tutti gli elementi del modello, come i componenti architettonici e strutturali, le attrezzature e i componenti impiantistici, sono rappresentati ad un livello di dettaglio stabilito, in modo da contenere i dati necessari rivolti sia al *Facility Management*, sia ad interventi futuri. Similmente gli oggetti sono forniti di un patrimonio informativo non geometrico che può essere di natura prestazionale, manutentiva, relativa alla stima di costi o altri aspetti. Ciò che differenzia questa nuova metodica è il modo in cui nel corso del processo l'informazione viene gestita; viene attuato un procedimento che coinvolge l'intero ciclo di vita dell'opera in cui l'informazione viene organizzata in un organismo che la rende accessibile e variabile quando necessario.

Generalmente chi si occupa dello sviluppo di un progetto, non partecipa al ciclo di vita dell'opera realizzata, e per questo motivo occorre ricordare fin dall'inizio della modellazione, quale sarà lo scopo del modello e chi ne usufruirà.
A tal proposito questo nuovo approccio consente di ottenere quattro risultati:
- Interrogazione diretta dell'informazione: il modello fornisce in tempo reale le informazioni d'interesse senza la necessità di dover ricorrere ad ulteriori elaborati
- Clash Detection: individuazione delle interferenze e gestione dei conflitti tra i rispettivi modelli
- Code Checking: individuazione delle incoerenze rispetto a regole o requisiti prestabiliti
- Interrogazione diretta dei dati: il modello fornisce in tempo reale le informazioni d'interesse riguardanti costi, risorse e tempo.

CREAZIONE E ORGANIZZAZIONE DEL CDE

Nell'ottica in cui il BIM risulta essere di fondamentale importanza nel mondo dell'edilizia, poiché si crea un ambiente di lavoro che di adatta con notevole facilità ai cambiamenti, nasce l'esigenza di essere forniti di un sistema di collaborazione comune a tutte le discipline. Questo sistema deve essere in grado di distinguere la condivisione degli elaborati *work in progress*, da quelle di revisione effettuate dall'ente decisionale. [21]

[21] Articolo: Aitana Marcos Guinea e Systema, 20/09/2016 BIM come supporto alla progettazione integrata

La piattaforma di condivisione in cui avviene questo scambio di informazioni viene proposta per la prima volta in maniera definitiva, nella normativa britannica PAS 1192, dove prende il nome di *Common Data Environment* (CDE): un ambiente virtuale finalizzato all'organizzazione di tutti i dati appartenenti ad un progetto.
Il CDE è indirizzato a semplificare la gestione di tutta la documentazione di progetto e deve rendere certa la sicurezza e l'univocità di

quest'ultimi, senza creare interferenze tra le differenti discipline, facilitandone la collaborazione e aiutando ad evitare duplicazioni ed errori. Per essere di semplice lettura e comprensione, è necessario che abbia una struttura chiara e che venga utilizzato un linguaggio standardizzato accordato in base alla normativa di riferimento. Questa elaborazione è stata ripresa in un secondo tempo nelle norme italiane UNI 11337, dove prende il nome di Ambiente di Condivisione Dati (ACDat)

"Il concetto di Ambiente di Condivisione Dati ACDat viene introdotto negli ultimi anni in Italia dalla normativa UNI 11337 e viene definito come "Ambiente di raccolta organizzata e condivisione dei dati relativi a modelli ed elaborati digitali, riferiti ad una singola opera a ad un singolo complesso di opere". La normativa fa un chiaro riferimento al termine anglosassone Common Data Environment (CDE), introdotto molto tempo prima dalle BS 1192:2007, e negli anni ha rappresentato uno strumento che ha facilitato l'interscambio del flusso informativo tra le controparti". [22]

[22] *ACDat (Ambiente di Condivisione Dati) e sicurezza dei dati personali*, Luigi Rubino, in in2it e Harpaceas, 27 aprile 2018

Le normative di riferimento non indicano con precisione in che modo dovrà funzionare un CDE e come dovrà essere organizzato, ma forniscono i requisiti che questo grande contenitore di informazioni deve soddisfare:

- Accessibilità, da parte di tutti gli utenti coinvolti nel processo
- Tracciabilità e successione storica delle modifiche apportate ai dati all'interno
- Garanzia di sicurezza e riservatezza
- Conservazione e aggiornamento nel tempo
- Facilità di accesso, interrogazione ed estrapolazione di dati
- Supporto di una vasta gamma di formati dati e tipologie e loro elaborazioni

All'interno della normativa inglese, il *Common Data Environment* è suddiviso in quattro stati di lavorazione del contenuto, nei quali vengono strutturati, tra i diversi team di progetto, appositi processi di condivisione, verifica, revisione e validazione delle informazioni:
- L0 _ *Work in progress*: fase di elaborazione e aggiornamento. La condivisione dei dati da parte del team di sviluppo non è ancora disponibile agli altri operatori, fino al momento della convalida da parte del team manager.
- L1 _ *Shared*: fase di condivisione. Il contenuto informativo viene messo in condivisione in modo da essere oggetto di evoluzioni e modifiche, poiché non ancora completo per tutte le discipline.
- L2 _ *Published Documentation*: fase di pubblicazione. I dati vengono validati e considerati definitivi, anche se ancora suscettibile a revisioni.
- L3 _ *Archived*: fase di archiviazione. Tutta la documentazione viene archiviata. Da questo momento è possibile definire il PIM (Project Information Model) per la fase di costruzione e aggiornarlo per la

pianificazione delle operazioni di *facility*, ottenendo l'AIM (Asset Information Model).
Questa fase si può suddividere ulteriormente in L3.V "archiviato ma ancora valido" e L3.S "archiviato ma superato".

I passaggi da una fase a quella successiva sono filtrati da 4 livelli di gate di approvazione, formati da diversi check che le informazioni di dati devono superare, ossia un momento di valutazione precauzionale del livello di soddisfacimento dei requisiti previsti nella fase di destinazione successiva.
Tali gate sono stati inseriti nelle PAS britanniche, ed è prevista una sezione in cui vengono inserite le informazioni "non approvate" e che necessitano di una richiesta di variante.

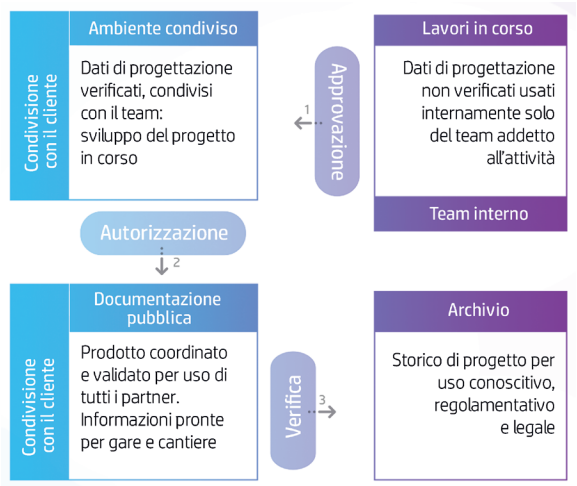


Fig.46 Rielaborazione del CDE - The British Standards Institution 2016

All'interno dell'ambiente condiviso il modello viene generato nella fase iniziale di *Work* in progress e può passare alla fase successiva Shared dopo un primo accertamento. Successivamente viene svolta un'ulteriore verifica da parte di tutti gli utenti del team per ottenere la validazione alla successiva fase Published e Archived.

Lo sviluppo del progetto Torre Regione Piemonte si è organizzato all'interno di Dropbox, una piattaforma di condivisione, accessibile gratuitamente e di facile comprensione. Questo ambiente di lavoro permette una condivisione simultanea del dato, basandosi infatti sulla sincronizzazione immediata del file necessario. In questo caso, si è deciso di non adottare un ambiente condiviso che rispecchiasse le regole del CDE ma di organizzare i modelli prodotti secondo una precisa gerarchia caratterizzata dalla divisione per edifici, discipline e formato del file.

Per quanto riguarda la denominazione dei files, la BS 1192:2007+A2:2016 suggerisce di costruire il nome come unione di una serie predefinita di campi, ciascuno avente un preciso significato, proprie regole di codifica e una fissata dimensione. I campi dovranno essere separati mediante il trattino basso "_". [23]

[23] Denominazione files
biblus.acca.it/bim-nomenclatura-dei-dati-da-archiviare

[23] Denominazione files
Tesi di Laurea – Sviluppo di standard finalizzati al processo di modellazione e gestione dei dati attraverso la metodologia BIM.
Alice Morabito

Questa costruzione del nome dei files proposta dalla BS è stata studiata e revisionata adattandola al caso studio affinché fosse maggiormente fruibile e di facile ricerca. [24]

CAMPO	CONTENUTO	ALTERNATIVE	CODICE
PROGETTO	3 LETTERE	Torre Regione Piemonte	TRP
EDIFICIO	2 LETTERE	Torre	TO
		Centro Servizi	CS
		Interrati Torre	IT
		Interrati Parcheggio	IP
DISCIPLINA	3 LETTERE	Architettonico	ARC
		Strutturale	STR
		Meccanica	MEC
		Elettrica	ELE
		Idricosanitario	IDR
		Antincendio	ANT
		Reti fluidiche	RFL
		Impianto di irrigazione	IDI
		Geotermico	GEO
		Coordinamento	COO
FORMATO FILE	3 LETTERE	Testo	PDF
		Database	DTB
		Disegni 2D	CAD
		Modelli	RVT
		Famiglie Revit	RFA
		Template	RTE

Fig.47 Tabella codifica cartelle

Nell'ambiente BIM la condivisione e lo scambio di informazioni possono avvenire utilizzando due strategie: i *workset* che consentono di trasferire tutti dati al momento della sincronizzazione al modello centrale, e i link che generano un ambiente federato.
Quando si sceglie di utilizzare un'ambiente condiviso, indifferentemente dal genere di condivisione adoperata, è consigliabile organizzare i modelli a seconda delle discipline trattate. In questo modo ciascun responsabile si occupa del proprio settore e la modellazione del manufatto avviene secondo file separati e distinti.

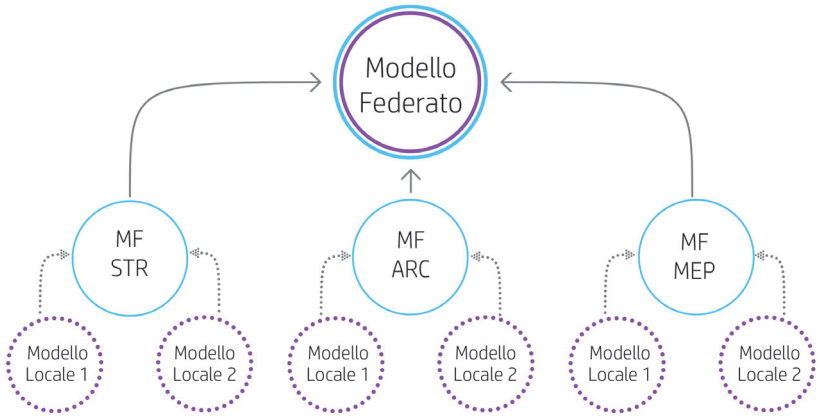


Fig.48 Schema concettuale di un modello disciplinare

I file che compongono l'intero manufatto vengono raccolti all'interno del modello centrale: essendo il container di tutti i file è l'unico in grado di fornire un quadro completo di quanto modellato. Questa tipologia di condivisione non comporta necessariamente lo stesso livello

di conoscenza informativa tra i diversi attori, o l'abilitazione di eventuali modifiche a discipline non competenti. Affinché il modello centrale funzioni correttamente, deve essere collocato all'interno di un server accessibile a ciascun operatore e la sua posizione non deve mai variare, in modo da non incorrere in una perdita dei collegamenti. Nel caso in cui si decidesse di modellare servendosi dei *workset* è necessario dotarsi di un server compatibile con la sincronizzazione simultanea dei dati al modello centrale: c'è da sottolineare, però, che questo passaggio provoca un rilevante aumento delle dimensioni del file.

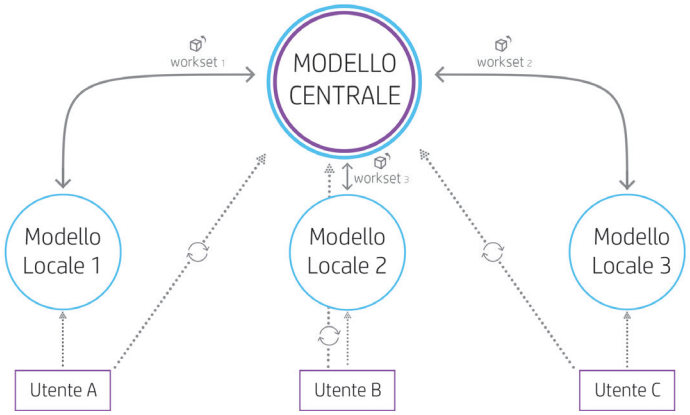


Fig.49 Sistema di coordinamento dei dati tramite workset

Come già accennato nei paragrafi precedenti, la seconda metodologia di condivisione avviene tramite link: questo approccio non corrisponde ad un immediato aggiornamento tra i modelli, ma comporta un passaggio individuale, che ogni operatore deve effettuare nel proprio file locale aggiornando ciascun link presente.

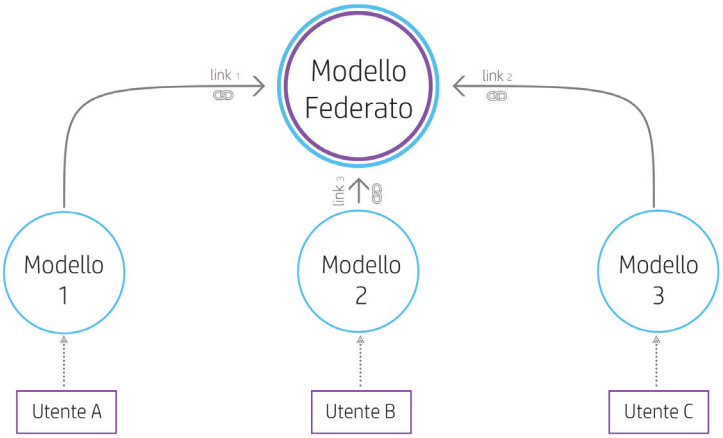


Fig.50 Sistema di coordinamento dei dati tramite link

STRUTTURA E GESTIONE DEI MODELLI

La modellazione del complesso Torre è stata realizzata attraverso l'utilizzo del *software* Autodesk Revit 2017. Come illustrato nel capitolo precedente si è scelto di utilizzare questo *software* per organizzare il lavoro in file federati che suddividono l'intero complesso della Torre della Regione Piemonte in diversi campi e discipline, dove tutti gli attori coinvolti nel team di progettazione, si occupano di un modello inerente. Questa metodologia consente di ridurre drasticamente la perdita di dati e informazioni durante il processo di sincronizzazione.

Ciò che ha indotto verso questa tipologia di organizzazione coordinata dei file è stata la criticità riscontrata nella gestione nel momento in cui si verifica un aumento dello spazio virtuale, in termini di Byte, che il documento occupa. Data la complessità dell'opera, non è stato possibile inserire tutte le informazioni necessarie in un file di modello singolare, quindi è stato creato un contenitore globale in cui sono stati uniti tutti i modelli consentendo l'analisi e il coordinamento di tutto il progetto. La federazione dei dati permette di possedere una correlazione univoca tra i diversi file, i quali, una volta unificati nel modello di coordinamento diventano solo interrogabili e non più modificabili.

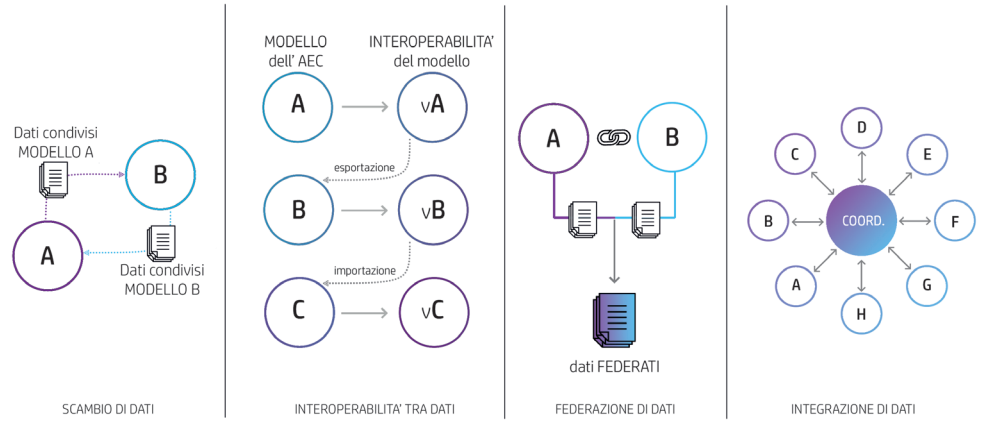


Fig.51 Schema metodologie scambio dati

Per far sì che questo metodo di lavoro funzioni correttamente e per aver una maggiore completezza dell'informazione è opportuno che durante la creazione di ciascun modello si effettui la geo referenziazione acquisendo le coordinate spaziali.

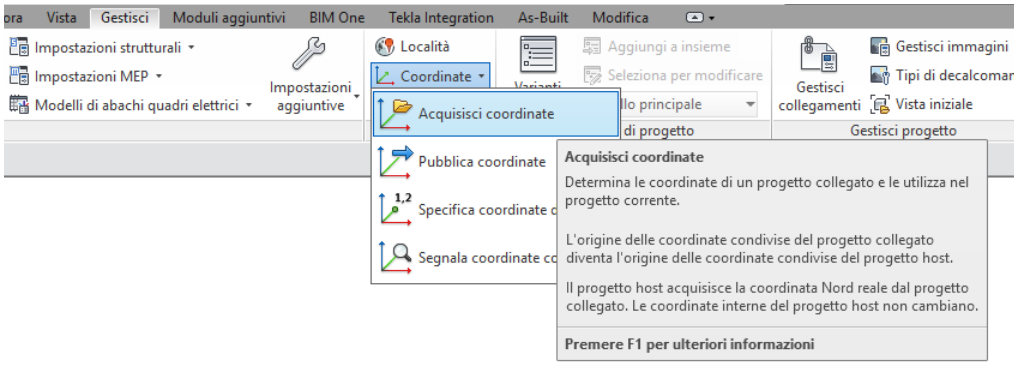


Fig.52 Comando acquisizione coordinate

Revit consente l'importazione o l'acquisizione del sistema di coordinate appartenenti ad un file linkato all'interno del progetto in modo tale che, una volta effettuato questo passaggio, ciascun file collegato si disponga automaticamente nella posizione corretta.
La fase di acquisizione delle coordinate è avvenuta solo all'interno del modello federato dei file .dwg e successivamente linkato in ciascun modello per ereditarne le informazioni spaziali.
L'ausilio di questo comando permette di impostare nelle proprietà il nord desiderato: quello reale o quello standard di progetto.

Dal momento che tutti gli utenti coinvolti nel progetto hanno modellato utilizzando la stessa versione del *software* Revit, è stato possibile utilizzare Dropbox come piattaforma di condivisione senza particolari difficoltà. Il formato di prevalenza dei modelli prodotti è stato quello di proprietà del programma .rtv rendendo la condivisione semplice e diretta - in questo non è stato necessario uno scambio di dati di tipo *open*, .IFC.

La scelta di adoperare collegamenti link all'interno dei modelli, non permette un immediato riscontro tra modello locale e il modello federato: al momento dell'apertura di un modello federato è consigliabile effettuare l'aggiornamento di ciascun link in modo da lavorare con file sempre rinnovati. Questa tecnica di condivisione comporta un'impostazione iniziale della tipologia di collegamenti da utilizzare; i modelli possono essere connessi tra di loro in maniera differente a seconda delle necessità:

- *Attachment*: se il file A viene collegato al file B per associazione, e successivamente quest'ultimo viene collegato al file C, in esso il file A saranno visibili entrambi.
- *Overlay*: se il file A viene collegato al file B per associazione, e successivamente quest'ultimo viene collegato al file C, in esso il file A non sarà visibile.

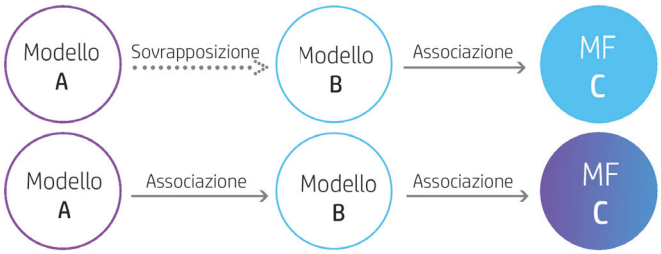


Fig.53 Schema funzionamento delle tipologie di link

Nel primo caso il modello C possiede al suo interno tutte le informazioni dei modelli A e B, nel secondo, invece, si verifica una perdita di dati che consente di non avere una ridondanza di informazioni nel file finale. Questa strategia risulta essere particolarmente conveniente poiché non incide notevolmente sulle dimensioni dei file. Infatti, tutti i modelli del progetto utilizzano questa tipologia di collegamento.

Inoltre, è possibile osservare due tipologie di percorsi diversi:
- Relativo: se si utilizza un percorso relativo e successivamente si sposta il progetto assieme al file collegato in una nuova *directory*, il collegamento viene mantenuto. La nuova *directory* di lavoro diventa il percorso relativo del file collegato.
- Assoluto: se si utilizza un percorso assoluto e successivamente si sposta il progetto assieme al file collegato in una nuova *directory*, il collegamento viene interrotto. [25]

[25] Tipologie di collegamento
https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ITA/Revit-Model/files/GUID-7959EB42-87DC-46D8-BC3D-07B97F92A78C-htm.html

Nome collegamento	Stato	Tipo di riferimento	Percorso salvato	Tipo di percorso
TRP_TO_ARC_CEN.rvt	Caricato	Sovrapposizione	..\..\..\Dropbox\TRP\TRP_TO_	Relativo
TRP_TO_DWG_CEN.rvt	Caricato	Sovrapposizione	..\..\..\Dropbox\TRP\TRP_TO_	Relativo
TRP_TO_MEP_HVAC_CEN_L43-47.rvt	Caricato	Sovrapposizione	..\..\..\Dropbox\TRP\TRP_TO_	Relativo
TRP_TO_STR_CEN.rvt	Caricato	Sovrapposizione	..\..\..\Dropbox\TRP\TRP_TO_	Relativo

Fig.54 Finestra Gestione dei collegamenti Revit

La problematica che è stata riscontrata nella gestione dei file è stata la mancanza di flessibilità della nuvola di punti al loro interno. Nonostante la divisione disciplinare del lavoro, durante la modellazione era necessaria la presenza della nuvola complessiva in modo da verificare con l'accuratezza di ciascun elemento. Questo però comportava un notevole aumento delle dimensioni del file rendendo ingestibile il lavoro.

Si è deciso, allora di creare un file .rvt normale - collegato a tutti i modelli disciplinari - in cui sono state caricate tutte le nuvole esportate in precedenza garantendo un alleggerimento del peso del modello. Questa scelta non si è rivelata risolutivo, poiché la capacità di gestione della nuvola viene annullata in presenza di un link di secondo livello.

La scelta finale, dunque, è ricaduta nel creare un compromesso tra la prima e la seconda prova:in ciascun file locale è stato collegato il modello .rtv con la nuvola di punti completa in modo da poterla utilizzare per una fase di verifica, e sempre all'interno di ciascun file locale sono state caricate le nuvole in formato .rcp inerenti alla disciplina del modello.

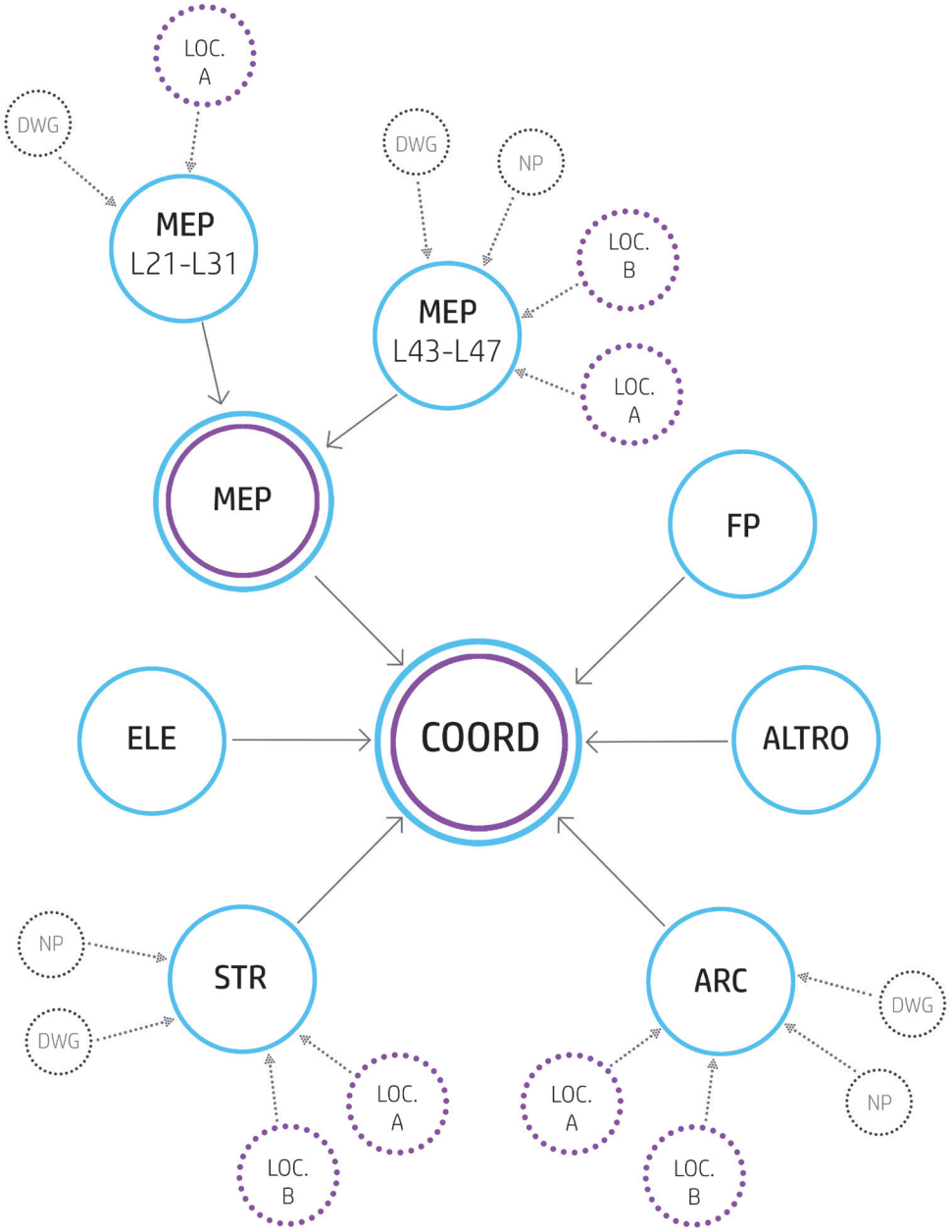


Fig.55 Sistema di condivisione per Torre Regione Piemonte

2.2.3 Linea guida e panorama normativo

Al giorno d'oggi, il mondo delle costruzioni si sta confrontando con progetti sempre più ricchi di documenti e informazioni che, se gestiti in modo non appropriato, rischiano di provocare danni ingenti a tutta l'attività progettuale.

Per questi motivi si ricorre alla possibilità di standardizzare e rendere univoco tutto il processo costruttivo, dall'idea alla gestione e manutenzione. Tale standardizzazione avviene attraverso l'impostazione di codifiche, la creazione di un ambiente condiviso, l'attribuzione di caratteristiche qualitative e quantitative agli oggetti e molto altro, permettendo, così, a tutti i soggetti coinvolti nel flusso di progettazione di parlare la stessa lingua in modo tale da ovviare ai rischi definiti precedentemente e ottimizzare l'intero lavoro. In più si aggiunge la possibilità di ottenere documenti ed elaborati sempre aggiornati e integrati con le ultime modifiche. [26]

[26] *Tesi di Laurea - Sviluppo di standard finalizzati al processo di modellazione e gestione dei dati attraverso la metodologia BIM.* Alice Morabito

Secondo la BSI, British Standard Institution, organizzazione britannica di standardizzazione "*uno standard è un modo ripetibile e condiviso di fare qualcosa; conformarsi ad uno standard significa prima di tutto risparmiare tempo e risorse, eliminare processi ridondanti e duplicati e aumentare l'efficienza. Gli standard sono metodi concordati di fare qualcosa, scritti come una serie di criteri precisi in modo che possano essere usati come regole, linee guida o definizioni*". [27]

[27] Organizzazione e standardizzazione www.bsigroup.com/it-IT/Standard/Cosa-sono-gli-standard

Nel caso della Torre Regione Piemonte sono stati definiti degli standard procedurali, messi a disposizione e adottati da ciascun membro del team, al fine di realizzare un modello BIM orientato al *Facility Management* ricco di informazioni che, in caso di necessità, siano filtrabili e di facile reperibilità.

Il passo che ha preceduto la fase di modellazione è stato, appunto, lo sviluppo di standards finalizzati all'ottenimento di un lavoro ordinato ed efficiente:
- Denominazione di cartelle e files
- Creazione di un template
- Codifica famiglie e tipi
- Creazione di parametri condivisi generali

L'adozione degli standards sopra elencati ha permesso la creazione di un modello BIM suddiviso per discipline, ma caratterizzato da una struttura organizzativa univoca.

A livello Europeo, già da tempo molti paesi come Finlandia, Norvegia, Regno Unito, Germania e Danimarca, hanno maturato e diffuso una politica inerente alla digitalizzazione nel mondo edilizio.
Dal 2018 anche in Italia si sta verificando un progressivo sviluppo dato dalla firma del Decreto BIM il quale definisce "*le modalità e i*

tempi di progressiva introduzione, da parte delle stazioni appaltanti, delle amministrazioni concedenti e degli operatori economici, dell'obbligatorietà dei metodi e strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relative verifiche". [28]

L'obiettivo è quello di normare il BIM; la norma infatti mira a disciplinare l'applicazione del *Building Information Modelling* (BIM) a livello nazionale, incentivandone un utilizzo consapevole. Tenta di stabilire i presupposti per la creazione di un ambiente di lavoro collaborativo, all'interno del quale i dati e le informazioni sono richiesti, prodotti, scambiati, verificati e utilizzati secondo procedure standard condivise. [29]

La normativa UNI 11337 "Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni" è il punto di riferimento per i professionisti BIM. LA norma è composta da dieci parti:

- Parte 1: MODELLI, ELABORATI ED OGGETTI
- Parte 2: DENOMINAZIONE E CLASSIFICAZIONE
- Parte 3: SCHEDE INFORMATIVE LOI E LOG
- Parte 4: LOD E OGGETTI
- Parte 5: GESTIONE MODELLI ED ELABORATI
- Parte 6: ESEMPIO CAPITOLATO INFORMATIVO
- Parte 7: QUALIFICAZIONE FIGURE
- Parte 8: PM / BIM-M
- Parte 9: FASCICOLO DEL COSTRUITO
- Parte 10: VERIFICA AMMINISTRATIVA

DEFINIZIONE LOD

Nei progetti BIM si possono incontrare termini non regolamentati, pensati per agevolare la comunicazione all'interno del progetto: I tre termini LOD, LOG e LOI possono essere utili per stabilire con chiarezza gli accordi con le altre parti coinvolte in un progetto. Nel protocollo BIM, è importante descrivere esattamente cosa coprono i vari livelli di LOI, LOG e LOD. In questo modo, è possibile stabilire con chiarezza quali siano le informazioni realmente importanti, cosa ci si aspetta da ciascuna parte. [30]

Sia le linee guida e i protocolli forniti dall'AIA sia la norma britannica sia le varie linee guida elaborate in diversi paesi del mondo cercano di definire il livello di approfondimento al quale deve essere sviluppato il modello; tuttavia la questione è affrontata e risolta in modi differenti. [31]

Il grado di evoluzione informativo di un oggetto digitale è internazionalmente definito attraverso i LOD: *Level of Development*,

[28] Decreto del BIM
DM 560/2017

[29] F. Cumo, A. Sferra, G. Piras, F. Mancini, F. Barbanera, M. Tiberi, V. Sforzini, B. De Lieto Vollaro, E. Pennacchia, G. Spiridigliozzi, *La metodologia BIM come strumento per una efficiente progettazione e gestione degli impianti degli edifici*

[30] Definizione di LOD
MEPcontent, *Redazione tecnica*, 08/06/2018

[31] Linee guida nel mondo
Massimiliano Lo Turco, *Il BIM e la rappresentazione infografica nel processo edilizio, Dieci anni di ricerche e applicazioni*, ARACNE editrice, 2015

livello di sviluppo di natura statunitense.
Il concetto attuale di LOD deriva da una prima definizione ancora legata al dettaglio grafico, identificato appunto come *Level of Detail* e da una digressione tipicamente britannica verso una definizione separata tra i livelli degli attributi geometrici LOD – come *Definition* in generale e Detail per la sola parte grafica – e quelli degli attributi non geometrici LOI, *Level of Information*. [32]

[32] Concetto attuale di LOD
Matteo Giani, Claudio Mirarchi, Alberto Pavan, *BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*, Tecniche Nuove, 2017

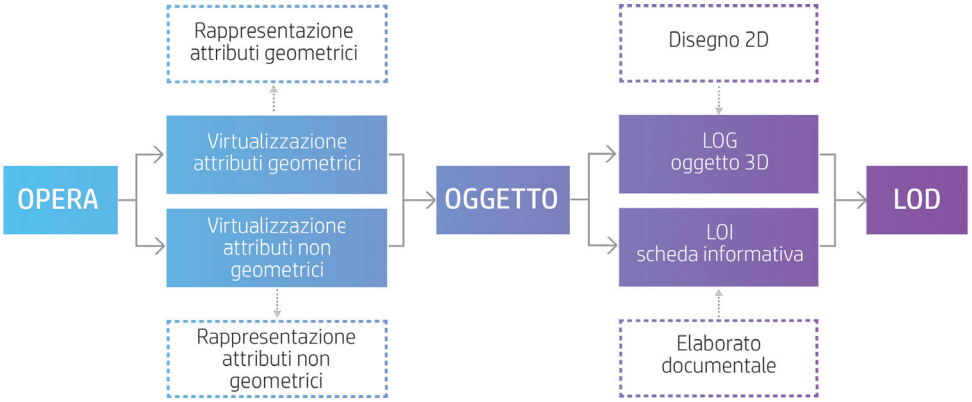


Fig.56 Schema di strutturazione dei LOD italiani

La normativa italiana non prevede un'unica classificazione di LOD ma ne identifica quattro tipologie differenti, in base alla scala di intervento:

- Nuova costruzione
- Restauro
- Interventi territoriali o Infrastrutture
- Mezzi e Attrezzature

"Differentemente dagli altri Paesi, la codifica sviluppata in Italia utilizza lettere e non numeri.
Tale scelta è stata fatta per non creare confusione con quella statunitense, per centinaia (LOD 100, 200, ecc..) o britannica, per numeri interi (LOD 1, 2, ecc..). I LOD italiani prendono spunto da quelli USA ma integrano alcuni aspetti UK e risentono di altre prerogative tipicamente nazionali, non presenti nell'uno o nell'altro dei sistemi anglosassoni, ma ritenute importanti per il nostro mercato". [33]

[33] Sistema dei LOD italiano: UNI 11337-4 – *Alberto Pavan*

LOD A	ogg. SIMBOLICO	Studio delle superfici e dell'orientamento
LOD B	ogg. GENERICO	Consente di depositare il permesso a costruire
LOD C	ogg. DEFINITO	Consente di iniziare la modellazione impiantistica
LOD D	ogg. DETTAGLIATO	Modellazione di tutte le componenti
LOD E	ogg. SPECIFICO	Modellazione di tutte le componenti dotate di un alto livello informativo
LOD F	ogg. ESEGUITO	Modellazione che tiene conto della posa in cantiere
LOD G	ogg. AGGIORNATO	Aggiornamento del modello per la manutenzione

Fig.56 Classificazione LOD italiano: UNI 1137

caratteristiche pertinenti e i parametri annessi – è stato possibile generare le schede LODs. Ciascuna di esse raffigura l'oggetto in una vista 3D, comunicandone il nome della famiglia, del tipo, e una serie di parametri raggruppati a seconda delle sezioni in cui sono stati aggiunti.

Per facilitarne la lettura si è scelto di suddividerli per colore:

- NERO: parametri generati da Revit
- BLU: parametri inseriti
- VIOLA: parametri generati da Revit e calcolati automaticamente

"*Le schede LODs riassumono le informazioni contenute all'interno del modello BIM per ogni singolo oggetto modellato. Possono rappresentare una sorta di database relativo ad ogni componente edilizio, il quale può essere implementato con altri dati anche non direttamente inclusi nel modello. Sono schede specifiche per ogni singola istanza, infatti viene esplicitato anche il parametro identificativo di ogni oggetto. Contemporaneamente, tali schede LODs possono essere catalogate all'interno di un database, dividendole per disciplina e codificandole, eventualmente, con lo stesso codice del parametro identificativo. In questo modo il collegamento tra database e modello risulta ancora più fruibile e i rischi derivanti dalla perdita dei dati durante lo scambio o i vari aggiornamenti si riduce drasticamente.*" [34]

[34] Descrizione schede LOD
Tesi di Laurea - Sviluppo di standard finalizzati al processo di modellazione e gestione dei dati attraverso la metodologia BIM. - Alice Morabito

CATEGORIE DI MODELLO, FAMIGLIE, TIPI, ISTANZE

La creazione di un modello BIM avviene tramite la modellazione di oggetti intelligenti, che seguono una specifica gerarchizzazione, definendo un ordine sia nel processo di modellazione, sia nella gestione delle informazioni.

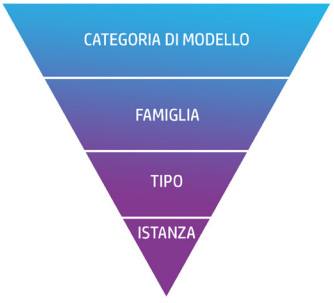


Fig.57 Gerarchizzazione oggetti BIM

Modellando un oggetto è possibile modificare la maggior parte dei componenti che lo costituiscono, ma la semantica non cambia. In Revit esistono di default 84 categorie di modello, che non possono essere modificate, eliminate o aggiunte.

Ciascuna categoria è composta da famiglie, ossia gruppi di elementi con un insieme di proprietà comuni denominate parametri ed una rappresentazione grafica associata, strutturati secondo tre macro-categorie principali:

- Di sistema: comprendono tutti gli elementi di base normalmente utilizzati in una costruzione e sono predefinite in Revit; ad esempio muri, tetti, scale, ecc.
- Caricabili: si tratta di famiglie che non sono già presenti nell'ambiente di progetto, ma che vanno, appunto, caricate prelevandole da librerie esterne.
- Locali: comprende tutti gli elementi così specifici e unici del progetto da rendere sconveniente la loro realizzazione, e quindi anche la loro personalizzazione attraverso l'uso di famiglie caricabili. [35]

[35] Simone Pozzoli, Marco Bonazza, Werner Stefano Villa, Autodesk Revit 2017 per l'*Architettura, Guida completa per la progettazione BIM*, Tecniche nuove, 2016

I *software* BIM sono orientati soprattutto alle nuove progettazioni e, di conseguenza, non possiedono molti degli elementi utili per la nuova costruzione. Occorre, quindi, aggiungerli creando nuove famiglie parametriche con proprietà intrinseche che ne permettono la modifica. Per lo sviluppo di questa tesi sono state modellate e trasformate divere famiglie personalizzate, oltre quelle già presenti, che verranno illustrate all'interno di ciascuna disciplina.

Una grande potenzialità di questa metodologia è che agli oggetti è possibile attribuire modifiche mantenendo specifiche regole gerarchiche tra loro. Il tipo trova concretizzazione nel momento in cui viene attribuito un valore ad un parametro specifico.

L'ultimo punto della gerarchia che costituisce l'identità di un elemento è l'istanza, una caratteristica specifica di un elemento presente nell'ambiente di progetto.

CODIFICA FAMIGLIE E TIPI

Una delle differenze principali tra le famiglie di sistema e quelle caricabili è che le prime non possono essere rinominate e in fase di codifica dovranno mantenere il nome attribuito da default, mentre tutte le altre devono seguire l'apposita codifica:

CAMPO	CONTENUTO	ALTERNATIVE	CODICE
PROGETTO	3 LETTERE	Torre Regione Piemonte	TRP
EDIFICIO	2 LETTERE	Torre	TO
		Centro Servizi	CS
		Interrati Torre	IT
		Interrati Parcheggio	IP
DISCIPLINA	3 LETTERE	Architettonico	ARC
		Strutturale	STR
		Meccanica	MEC
		Elettrica	ELE
		Idricosanitario	IDR
		Antincendio	ANT
		Reti fluidiche	RFL
		Impianto di irrigazione	IDI
		Geotermico	GEO
		Coordinamento	COO
FAMIGLIA	2 LETTERE	-	XY

Fig.58 Tabella codifica famiglie

Data la vasta presenza di famiglie le due lettere saranno costituite da:

- X prima lettera del nome della famiglia
- Y lettera in ordine alfabetico

TIPO	PROGETTO	EDIFICIO	DISCIPLINA	FAMIGLIA	NOMENCLATURA
Sistema	TRP	TO	MEC	Condotto circolare	Condotto circolare
Caricabile	TRP	TO	MEC	Calotta di chiusura circolare - CB	TRP_TO_MEC_CB

Fig.59 Esempio codifica famiglia

PROGETTO_EDIFICIO_DISCIPLINA_FAMIGLIA

Se la nomenclatura della famiglia è costituita da quattro campi, quella dei tipi è formata da solamente due campi. Queste due parti richiamano due caratteristiche importanti riferite all'oggetto che li contraddistinguono e permettono di dividerli in diversi tipi.
In questo caso, la standardizzazione si ferma fino a questo punto, dicendo, dunque, che il nome del tipo sarà costituito da due caratteristiche separate da un trattino basso "_", senza specificare esattamente quali siano queste caratteristiche in quanto sarebbe molto complicato. Si lascia quindi libertà di scelta al progettista.

CARATTERISTICA 1_CARATTERISTICA 2

Tali caratteristiche, infatti, non sono sempre le stesse per le diverse famiglie, ma cambieranno in funzione della categoria di appartenenza e della disciplina, in modo tale da portare un miglioramento per la ricerca e gestione dei dati.
Per tutte le discipline impiantistiche, si è pensato di rappresentare la caratteristica 1 tramite la funzione dell'oggetto modellato.
Tali funzioni possono essere: accessorio, rete, sorgente o terminale.
La caratteristica 2 indicherà, invece, una dimensione che contraddistingue le varie tipologie della stessa famiglia.

FAMIGLIA	CARATTERISTICA 1	CARATTERISTICA 2	ESEMPIO
Pilastro in calcestruzzo	*Materiale* Calcestruzzo CS	*Sezione [cm]*	CS_40x80
Pavimento	*Tipologia costruttiva* Cemento amato CA Flottante FL Latero cemento LC	*Spessore [cm]*	FL_40
Raccordo a T circolare	*Raggio [mm]* 125 200 250	*Funzione*	RA_200

Fig.60 Esempio codifica tipi

ACQUISIZIONE PARAMETRI CONDIVISI

Il *Building Information Modeling* è un processo che ha come finalità, partendo da un progetto edilizio, la creazione e la gestione di un modello digitale, al cui interno sono contenute tutti i dati e le informazioni relative alle caratteristiche di ciascun oggetto disegnato.
Le informazioni possedute dal modello, però, risultano per molti aspetti approssimative: nonostante questa metodologia comporti la creazione di un ricco bagaglio informativo, questi dati necessitano di essere analizzati e contestualizzati. È fondamentale, quindi, acquisire più informazioni possibili durante la fase di rilievo, in modo da poterle inserire negli oggetti modellati ed essere utilizzate in analisi successive.

"Nel caso della Torre Regione Piemonte, la gestione e l'organizzazione dei dati risulta di assoluta importanza. In precedenza, è stata sviluppato una struttura organizzativa compatta indirizzata alla progettazione di un modello digitale BIM-based e all'accessibilità delle informazioni pertinenti". [36]

[36] *Tesi di Laurea - Sviluppo di standard finalizzati al processo di modellazione e gestione dei dati attraverso la metodologia BIM.* Alice Morabito

Tutti gli elementi disegnati nel modello vengono arricchiti da variabili che fanno riferimento a caratteristiche ben precise dell'oggetto a cui si possono apportare modifiche in corso d'opera, a seconda delle necessità. In questo modo il modello BIM si arricchisce sempre di più di informazioni utili in tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, a partire dalla conservazione, al mantenimento e infine al successivo recupero o dismissione.

La caratteristica essenziale che differenzia i modelli elaborati con metodologia BIM dai semplici modelli 3D, è che i primi sono caratterizzati da oggetti che ne definiscono la geometria con regole ben precise associate a ciascun elemento. La capacità di integrazione della geometria in maniera non ridondante, non permettendo così le possibili incoerenze, è la caratteristica peculiare degli oggetti cosiddetti "parametrici".

I parametri sono caratteristiche qualitative e quantitative che si assegnano agli oggetti in modo tale da poter approfondire le loro proprietà affinché non rimanga solo un oggetto modellato a livello estetico. I parametri possono essere associati all'istanza, quindi al singolo elemento modellato, oppure al tipo, in quanto può essere una caratteristica comune a più istanze. I parametri, dunque, memorizzano e comunicano informazioni su tutti gli elementi di un modello; consentono di definire e modificare componenti, nonché di comunicare informazioni sul modello nelle etichette e negli abachi.[37]

[37] Utilità dei parametri *help.autodesk.com/view/RVT/2017/ITA/?guid=GUID-D927E0DC-F720-4F7D-AACD-8B06787793CB*

Questa tipologia di informazione non è solo da attribuire al comportamento geometrico, ma ogni elemento è dotato di un set informativo di svariata origine: può far riferimento alle caratteristiche di tipo tecnologico,

prestazionale, o alla gestione e manutenzione.

È possibile distinguere tre tipologie di parametri:
- Parametri di progetto: sono specifici per un unico file di progetto. Vengono aggiunti agli elementi mediante l'assegnazione a più categorie di elementi, tavole o viste. Le informazioni contenute in tali parametri non possono essere condivise con altri progetti. I parametri di progetto vengono utilizzati in un progetto per la creazione di abachi, l'ordinamento e applicazione di filtri. [38]

- Parametri di famiglia: controllano i valori variabili della famiglia, quali le quote o i materiali. Sono impostazioni specifiche per la famiglia. Un parametro di famiglia può essere utilizzato anche per controllare un parametro di famiglia nidificata, mediante l'associazione del parametro della famiglia host al parametro della famiglia nidificata. [38]

- Parametri condivisi: sono definizioni di parametri utilizzabili in più famiglie e progetti. Dopo l'aggiunta di un parametro condiviso ad una famiglia o un progetto, è possibile utilizzarlo come parametro della famiglia o del progetto. La definizione di un parametro condiviso è archiviata in un file separato. Di conseguenza, il parametro condiviso è protetto dalle modifiche. Per tale motivo, possono essere provvisti di etichette e inclusi negli abachi. [38]

- Parametri globali: sono specifici per un singolo file di progetto, ma non sono assegnati a categorie. Possono essere valori semplici, valori ottenuti da equazioni o valori ricavati dal modello mediante altri parametri globali. Inoltre, consentono di definire valori oppure restituiscono valori. [38]

Grazie a questa caratteristica intrinseca degli oggetti è possibile interrogare i modelli BIM, e utilizzare i parametri per svolgere, ad esempio, analisi energetiche o strutturali. Ogni elemento del modello è costituito da una geometria parametrica e da una serie di dati alfanumerici associati. Queste due parti devono essere definite nel dettaglio prima di procedere con la modellazione in quanto sono la chiave della riuscita e della rispondenza del modello BIM a quanto richiesto dal committente. [39]

Data la necessità di modellare adoperando un ambiente condiviso è stato necessario l'utilizzo di parametri condivisi, in modo tale che, indipendentemente dalla quantità e tipologia dei modelli, fossero tutti riuniti in uno stesso file.
Per una migliore gestione e organizzazione sono stati creati diversi gruppi di parametri divisi in base all'esigenza e all'uso. È stato prima creato il gruppo di parametri, denominato in base alla tipologia di parametri contenuti, successivamente all'interno di ciascun gruppo, sono stati inseriti i parametri necessari specificandone il nome, la

[38] Tipologia di parametri
https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ITA/Revit-Model/files/GUID-AEBA08ED-BDF1-4E59-825A-BF9E4A871CF5-htm.html

[39] Utilità dei parametri
Fulvio Re Cecconi, Giuseppe Martino Di Giuda, Sebastiano Maltese, Valentina Villa, *Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari: Linee guida, livelli di dettaglio informativo grafico (LOD)* e alfanumerico (LOI), Hoelpi, 2017

[40] Acquisizione parametri condivisi TRP
Tesi di Laurea - Sviluppo di standard finalizzati al processo di modellazione e gestione dei dati attraverso la metodologia BIM. - Alice Morabito

disciplina a cui fa riferimento e il tipo di parametro.
In questo modo i parametri creati sono stati condivisi da ogni componente del team di progettazione e inseriti all'interno del proprio modello in funzione dell'esigenza. [40]

Per il progetto della Torre Regione Piemonte i gruppi di parametri creati sono stati di quattro tipologie:
- Antincendio
- Dimensione
- Generale
- Materiale

Ogni modello BIM deve contenere al suo interno il gruppo di parametri "Generale" il quale racchiude nove parametri:

GRUPPO	PARAMETRO	DISCIPLINA	TIPOLOGIA	TIPO/ISTANZA	APPLICAZIONE
Generale	Classi di unità tecnologiche	Comune	Testo	Tipo	Tutte le categorie di modello
	Unità tecnologiche				
	Classi di elementi tecnici				
	Codice MasterFormat				
	Titolo MasterFormat				
	Identificativo			Istanza	
	Codice esistente				
	Affidabilità				
	Sottodisciplina				Viste

Fig.61 Tabella parametri generali

La Norma UNI 8290-1:1981 + A122:1983 "*Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia*" presenta la scomposizione in tre livelli gerarchici, a cui fanno riferimento i primi tre parametri:

- Classi di unità tecnologiche: elementi funzionali omogenei, raggruppati per funzione prevalente, per continuità fisica e funzionale.
- Unità tecnologiche: insieme di elementi tecnici che rappresentano funzioni finalizzate al soddisfacimento di esigenze dell'utenza
- Classi di elementi tecnici: classi di prodotti che assolvono a funzioni proprie di una o più classi tecnologiche. [41]

[41] Norma UNI 8290-1:1981

Durante la modellazione sono stati inseriti i codici presenti nella normativa di riferimento.

I parametri Codice e Titolo MasterFormat sono relativi al sistema MasterFormat, una catalogazione delle informazioni applicato all'industria delle costruzioni. Esso si compone di un insieme di

numeri e titoli, i quali non rappresentano prodotti da costruzione bensì pratiche costruttive. [42]

Questa ulteriore classificazione è stata importante per distinguere meglio gli elementi in riferimento alle loro tecniche di costruzione. Così facendo, è stato aggiunto un ulteriore livello in consecuzione ai tre derivanti dalli UNI 8290. I codici e i titoli MasterFormat sono stati compilati grazie all'uso del CSI CODE. [43]

DISCIPLINA	OGGETTO	MASTERFORMAT	
		Codice MasterFormat	Titolo MasterFormat
Architettonico	Pavimento flottante	03 35 13	High-Tolerance Concrete Floor Finishing
	Muro architettonico	06 25 16	Prefinished Plywood Paneling
	Scala assemblata	05 51 00	Metal Stairs
	Ringhiere	05 52 00	Metal Railings
	Porte	08 13 00	Metal Doors

Fig.62 Tabella parametri MasterFormat

Il parametro Identificativo consiste nell'associare ad ogni singolo oggetto modellato un codice univoco in modo tale da catalogare ogni singola istanza. Il programma Revit fornisce un codice ID univoco per ogni oggetto, ma tale codice non risulta affidabile in quanto, una volta che il modello viene collegato all'interno di un altro, esso perde questa proprietà di codifica di ogni singolo elemento. Tale parametro è costituito da una stringa di codifica formata dai seguenti campi:[44]

PROGETTO	EDIFICIO	DISCIPLINA	CATEGORIA	LIVELLO	NUMERO PROGRESSIVO	IDENTIFICATIVO
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	1	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00001
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	2	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00002
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	3	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00003
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	4	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00004
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	5	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00005
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	6	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00006
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	7	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00007
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	8	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00008
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	9	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00009
TRP	TO	STR	PS	L43-L47	10	TRP_TO_STR_PS_L43-L47_00010
TRP	TO	STR	MU	L43-L47	1	TRP_TO_STR_MU_L43-L47_00001
TRP	TO	STR	MU	L43-L47	2	TRP_TO_STR_MU_L43-L47_00002
TRP	TO	STR	MU	L43-L47	3	TRP_TO_STR_MU_L43-L47_00003
TRP	TO	STR	MU	L43-L47	4	TRP_TO_STR_MU_L43-L47_00004
TRP	TO	STR	MU	L45	1	TRP_TO_STR_MU_L45_00001
TRP	TO	STR	MU	L45	2	TRP_TO_STR_MU_L45_00002

Fig.63 Tabella parametri identificativo

Il parametro Codice esistente è stato sviluppato per creare una correlazione tra gli oggetti sviluppati attraverso i *software* 2D, in questo caso AutoCAD, e i *software* utili alla metodologia BIM, in questo caso Revit. Così facendo, l'oggetto modellato acquisisce un ulteriore codice, eventualmente creato da altri progettisti, in modo

[42] Codice e Titolo MasterFormat
Tesi di Laurea, *Sistemi di classificazione* - Antonio Pollara

[43] CSI Code
www.abc.org/Membership/2012-CSI-Codes

[44] Descrizione parametro identificativo
Tesi di Laurea - *Sviluppo di standard finalizzati al processo di modellazione e gestione dei dati attraverso la metodologia BIM.* - Alice Morabito

[45] **Descrizione parametro codice esistente**
Tesi di Laurea - *Sviluppo di standard finalizzati al processo di modellazione e gestione dei dati attraverso la metodologia BIM.* - Alice Morabito

tale da evitare la perdita di informazione durante il passaggio dal CAD al BIM e instaurare il concetto di interoperabilità che intercorre nel processo di progettazione. [45]

La compilazione di questo parametro, in riferimento ai livelli oggetto di tesi, è risultata difficile a causa dell'insufficienza di informazioni all'interno dei documenti in nostro possesso, problematica che invece non è stata riscontrata nei livelli inferiori. Per questo motivo l'informazione viene inserita con la dicitura NA, *Not Available*, non disponibile. Qualora si dovessero ottenere i dati necessari, la modifica del parametro e la sua compilazione può avvenire in qualsiasi momento.

Poiché la modellazione degli ultimi piani della Torre è avvenuta principalmente tramite la nuvola di punti, è stato necessario inserire il parametro Affidabilità, il quale fa riferimento alla fonte cui si è fatto riferimento durante la creazione di ogni oggetto. e caratteristiche dimensionali degli elementi modellati. L'utilizzo di questo parametro ha come scopo il raggiungimento di un modello finale il più possibile affidabile e attendibile.
I livelli di affidabilità definiti sono:

- 1 _ Misure in sito
- 2 _ Misure da documenti
- 3 _ Nessuna indicazione

NOMENCLATURA FAMIGLIA	TIPO	LIVELLO	AFFIDABILITA'
TRP_TO_STR_MU	C50/60_60	L 43_+183.31	1
TRP_TO_STR_MU	C50/60_60	L 43_+183.31	1
TRP_TO_STR_MU	C50/60_60	L 43_+183.31	1
TRP_TO_STR_MU	C50/60_60	L 43_+183.31	1
TRP_TO_ARC_MU	T1a_10	L 45_+191.05	2
TRP_TO_ARC_SC	AC_18X30	L 43_+183.31	2
TRP_TO_ARC_SC	AC_18X30	L 44_+187.88	2
TRP_TO_ARC_SC	AC_18X30	L 45_+191.05	2

Fig.64 Tabella parametri di affidabilità

Infine, l'ultimo parametro Sottodisciplina fa riferimento alla riorganizzazione del modello secondo le diverse discipline che lo caratterizzano, ed è stato impiegato per la creazione del template, e applicato solamente alle viste.
In questo modo è possibile personalizzare le viste in base alle necessità, isolando solo la sottodisciplina utile all'occorrenza.

2.2.4 Modellazione

Al giorno d'oggi, il *Building Information Modeling* sta diventando il concetto avanguardista nel settore edilizio. Questa metodologia di lavoro è la più ricorrente nel settore della gestione del processo edilizio, poiché si occupa di tutte le fasi del ciclo di vita di un edificio, dalla pianificazione alla costruzione e implementazione, alla gestione e manutenzione ed eventualmente fino alla sua dismissione e demolizione.

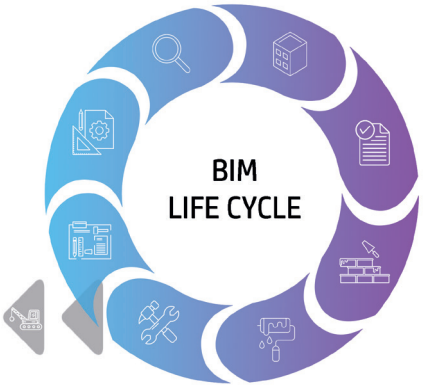


Fig.65 BIM life cycle

Prima di affrontare la modellazione degli elementi in dettaglio, è opportuno ricordare che un "modellatore BIM" non si occupa solo di attribuire semantica agli oggetti parametrici ma, soprattutto, permette la gestione di tutte queste informazioni consentendone la condivisione con tutti gli attori coinvolti in un progetto comportando un notevole risparmio di tempo, poiché ogni elemento viene inserito automaticamente insieme alle sue specifiche proprietà, e gli errori vengono ridotti notevolmente.

Nel caso specifico della Torre Regione Piemonte la scelta del *software* per la realizzazione del modello è ricaduta in Autodesk Revit 2017, in quanto rispecchiava le caratteristiche necessarie per il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Nella modellazione BIM il *software* rappresenta solo lo strumento utilizzato al fine dell'ottenimento del risultato: infatti, le proprietà di archiviazione e amministrazione delle informazioni esistono a prescindere dalla tipologia di programma utilizzato per la realizzazione.

La creazione del modello di Torre, inoltre, è avvenuta con lo sguardo rivolto verso il *Facility Management*, l'attività che si occupa della gestione e manutenzione degli edifici, in particolar modo della disciplina relativa agli impianti. Tra i molteplici significati del BIM, infatti, vi è anche il concetto di trasformazione dell'abituale metodo di costruzione di un manufatto e della metodologia tramite la quale può avvenire il futuro mantenimento.

"Dunque, il BIM rappresenta non solo l'immagine digitale (model) di un edificio, ma anche il metodo di pianificazione ottimizzata (modeling) e la cooperazione tra tutte le parti coinvolte nella costruzione". [46]

[46] Definizione BIM
A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM*, Dario Flaccovio Editore, 2012

CRITERI DI MODELLAZIONE E AFFIDABILITÀ

La fase di modellazione, a maggior ragione nel caso in cui si deve effettuare la riproduzione di un edificio reale, è quella che richiede più impegno e attenzione affinché venga eseguita nel modo più scorrevole e semplice., occupando gran parte del periodo di svolgimento del lavoro.

La produzione del modello BIM degli ultimi livelli dell'edificio Torre Regione Piemonte non è partita da zero: poiché era un progetto già esistente, è avvenuta utilizzando come dati *input* modelli disciplinari realizzato in precedenza basati interamente su CAD, in seguito integrati da un rilievo dell'esistente per lo sviluppo della tesi in analisi. Inoltre, tutti gli elementi e tutte le famiglie parametriche che sono state realizzate in momenti precedenti e tutte le informazioni connesse al progetto sono state utilizzate come base per il lavoro, acquisendo una notevole importanza.

Nonostante il *software* Revit 2017 sia sofisticato e studiato nei particolari per la progettazione dal nuovo, le criticità in cui si è incorsi e gli accorgimenti presi affinché il lavoro giungesse a buon fine, descrivono la complessità della modellazione BIM di una struttura già esistente. Durante il percorso intrapreso, infatti, sono state riscontrati diversi limiti sia nella fase di rilievo, sia durante la parte di modellazione. Per la maggiorparte di queste problematiche si è trovata una soluzione, altre hanno richiesto un metodo alternativo, ed altre ancora si è dovuti giungere ad un compromesso a causa di limiti dovuti al *software* di progettazione.

A causa di una scarsa presenza di documenti e informazioni relative ai piani di interesse, come già affrontato nel CAPITO DEI PARAMETRI, si è data molta importanza all'affidabilità del modello prodotto: ciascun elemento modellato è stato fornito di un parametro relativo al livello di affidabilità in modo da poter avere a fine lavoro un quadro completo su quale documentazione si è utilizzata e in quali punti.
Gran parte del lavoro di modellazione è avvenuto tramite l'ausilio della nuvola di punti Lidar, più chiara grazie alla presenza di colori reali compensata nei punti non accessibili al laser scanner, dalla nuvola ZEB. La documentazione .dwg è stata utilizzata come supporto soprattutto nella fase di modellazione impiantistica, poiché fornivano informazioni non presenti nel rilievo ad alta definizione. Quest'ultimi non sono risultati sufficientemente al corrente delle modifiche apportate, per questo motivo il rilievo effettuato tramite laser scanner si è dimostrato fondamentale.

Come già descritto in precedenza, per far sì che il modello locale di ciascun utente non aumentasse in termini di peso, ciascuna nuvola è stata suddivisa per piani e successivamente in regioni corrispondenti alle tre discipline di modellazione.

Quando si modella tramite la nuvola di punti è spesso necessario, indipendentemente dal modello, limitare la regione visibile o gestire le regioni in esse contenute, poiché il programma potrebbe risentirne del peso di quest'ultime. In questo modo la modellazione diventa più gestibile e veloce, inoltre in qualsiasi momento e in qualsiasi vista è possibile accedere alle divere sezioni e accenderle o spegnerle all'occorrenza.

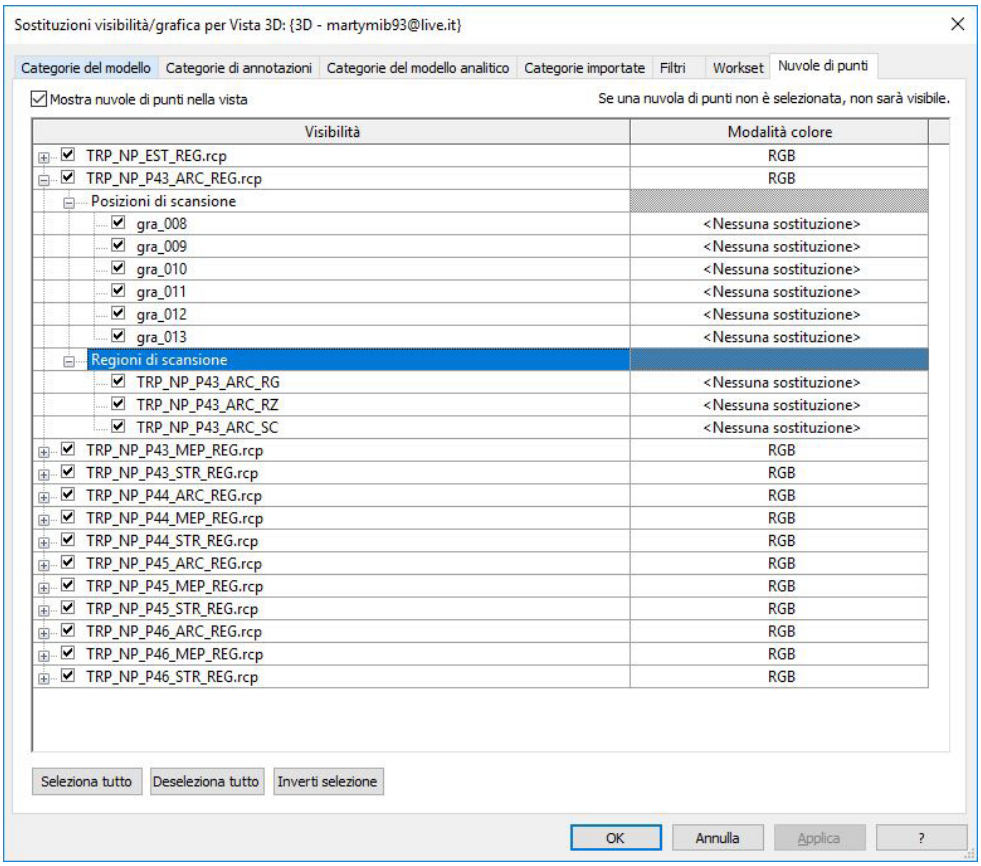


Fig.65 Finestra visibilità/grafica – Categorie del modello - Nuvole di punti

Questa strategia ha permesso di superare – anche se non in maniera ottimale – una problematica dovuta ad un limite di Revit, ossia l'impossibilità di gestione dei collegamenti di secondo livello. A causa di questo vincolo, ciascun utente ha collegato all'interno del proprio file il modello contenente la nuvola di punti in formato .rcp, in modo da poter avere un quadro completo dell'area di lavoro e caricato, in base alle proprie necessità, le nuvole con le relative regioni sottostanti.

L'importazione della nuvola di punti all'interno dell'ambiente di lavoro ha richiesto una fase di contestualizzazione con il modello prodotto in precedenza: questo passaggio è stato necessario poiché durante la campagna di rilievo si è scelto di non effettuare una geo referenziazione delle scansioni.
Come visto in precedenza, affinché il lavoro funzioni correttamente, è stato creato un file nel quale è stato possibile ereditare informazioni spaziali della Torre tramite l'acquisizione delle coordinate.

Successivamente il posizionamento della nuvola è avvenuto caricando all'interno del modello orientato la scansione relativa all'esterno dell'edificio in quanto risultava essere la più completa. Una volta disposti correttamente i punti cardinali con i punti omonimi del modello sono state inserite tutte le altre scansioni tramite il comando "Inserisci" -> "Nuvola di punti" -> "Posizionamento: Automatico da origine ad ultimo posizionato".
Dopo aver effettuato questa procedura, è stato possibile avviare la fase di modellazione, che come ripetuto più volte, è avvenuta per discipline.

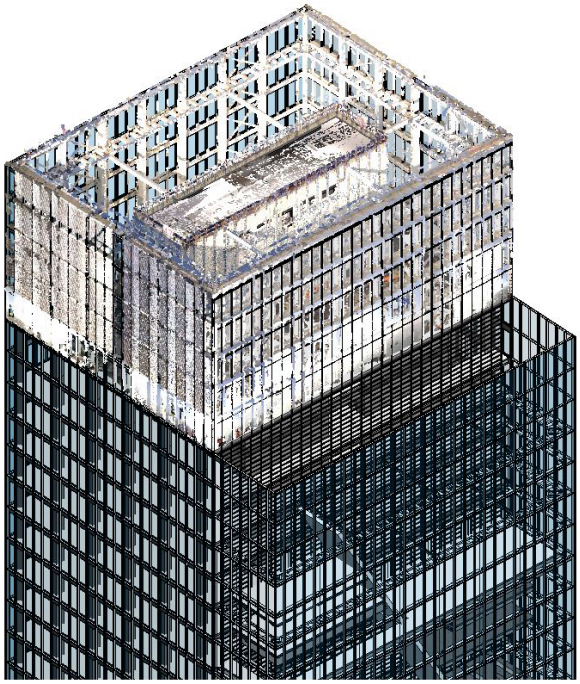


Fig.66 Sovrapposizione nuvola di punti-modello

APPLICAZIONE *SCANTOBIM* PROCEDURE

In questo capitolo si analizzerà in maniera approfondita il processo attraverso il quale è stato possibile ottenere, avendo come base una nuvola di punti, il modello BIM della Centrale Termica di Torre Regione Piemonte.

Per lo sviluppo della tesi si è scelto di utilizzare As built for Revit, un *plug-in* per la modellazione 3D, che individua in modo automatico gli elementi impiantistici, modellando direttamente sulla nuvola di punti. La finalità è di far individuare al *software* di modellazione degli oggetti – architettonici, strutturali e meccanici – in maniera automatica, o semi automatica, partendo direttamente dalla nuvola di punti. A tal proposito, da diversi anni si sta sviluppando una ricerca riguardante *plug-in* e metodi elaborati per estrapolare questa tipologia di informazioni.

Questo approccio, esige una notevole quantità di calcolo, e non assicura la completa identificazione degli elementi; in particolare

si limita ad un approccio unicamente geometrico, non entrando nella semantica degli oggetti. Infatti, il compito di riconoscimento degli oggetti partendo dalla nuvola di punti, avviene per la maggior parte in maniera manuale.
Anche in questo caso, dopo aver svolto la fase di riconoscimento e modellazione, è stato necessario appropriare ciascun oggetto della propria semantica passando dal reale al digitale.

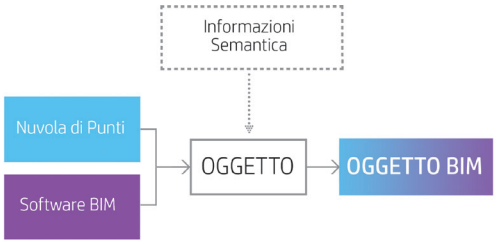


Fig.67 Processo per il raggiungimento di un oggetto BIM

La parte più articolata della *SCANtoBIM* Procedure si riscontra nei passi successivi, quando si inizia a definire il livello di dettaglio LOD al modello BIM che permette di giustificare le operazioni susseguenti permettendo, inoltre, di comprendere quale approccio e quale strategia seguire - in questo caso, per esempio, si è deciso di iniziare la modellazione dagli oggetti di dimensione maggiore per poi scendere man mano nel dettaglio, ma questa fase verrà illustrata nel paragrafo successivo.

Questa metodologia è stata applicata in particolar modo nella fase di modellazione degli impianti idraulici e meccanici. Questa scelta è stata dovuta al fatto che, mentre nelle precedenti discipline dalla Direzione Lavori è stata fornita una documentazione più vasta e completa, per quanto riguarda il settore MEP le informazioni ottenute sono state inferiori se non del tutto assenti.

MODELLO STRUTTURALE

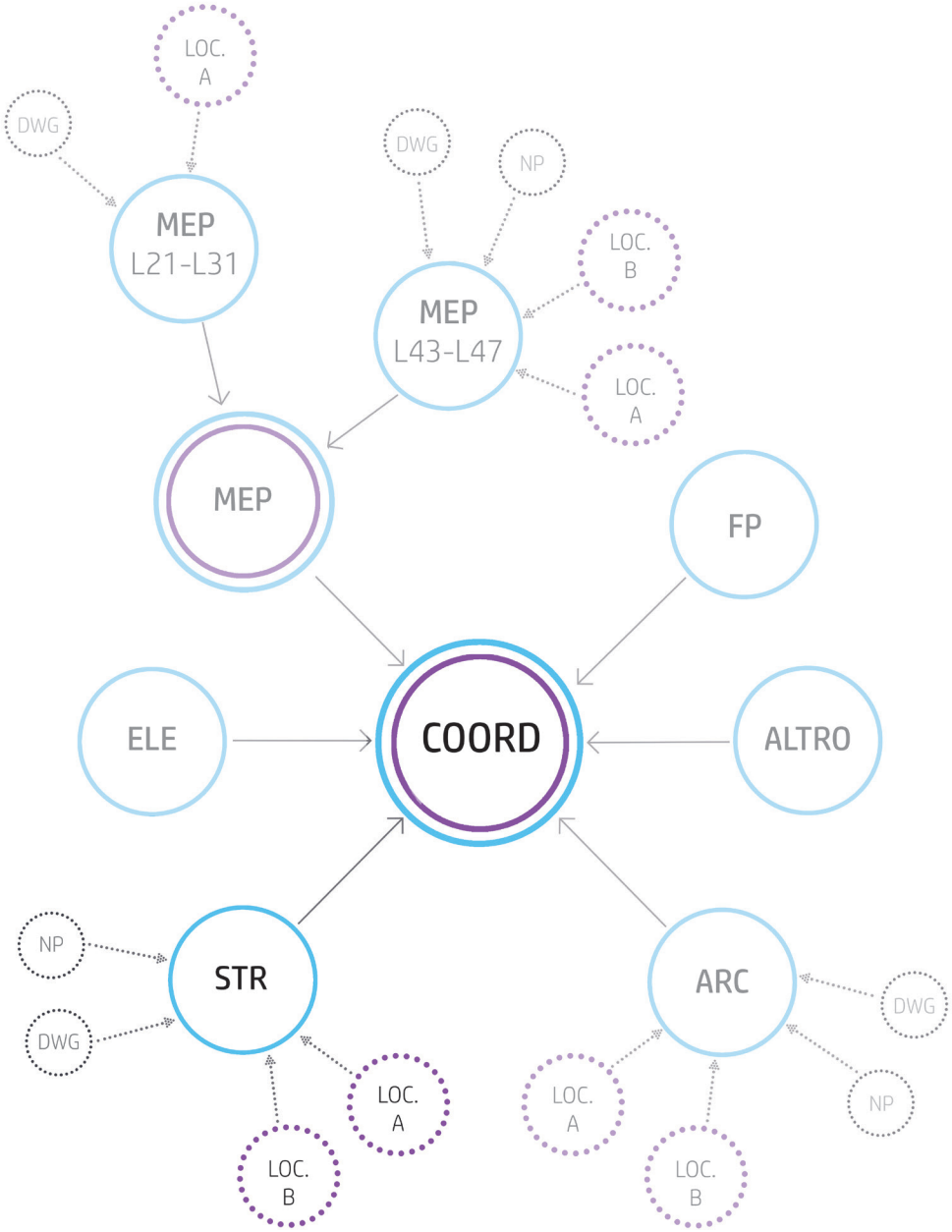


Fig.68 Strutturale
Sistema di condivisione per Torre Regione Piemonte

La modellazione degli elementi strutturali è avvenuta partendo dal modello centrale TRP_TO_STR_CEN generato in precedenza. Per poter generare un file locale è indispensabile seguire una procedura ben definita: dopo aver aperto Revit, selezionare "Apri" -> "Progetto" -> spuntare "Crea nuovo locale" in modo da poter sincronizzare il lavoro svolto con gli altri utenti del team.

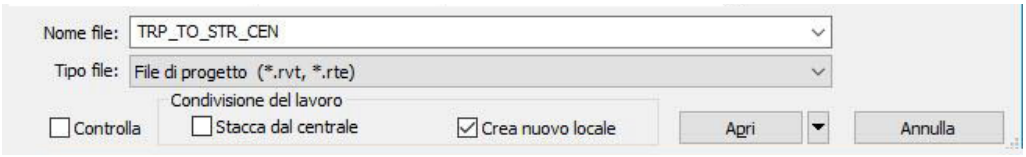


Fig.69 File locale
Finestra di dialogo

Se si dovesse aprire direttamente il file centrale senza questo accorgimento si rischierebbe di manomettere seriamente il lavoro di tutti gli operatori coinvolti nel progetto.
Il passaggio successivo per poter realizzare la struttura portante della parte finale della Torre, è stato collegare il file TRP_TO_NPT e tutti i file in formato .rcp inerenti alla parte strutturale.

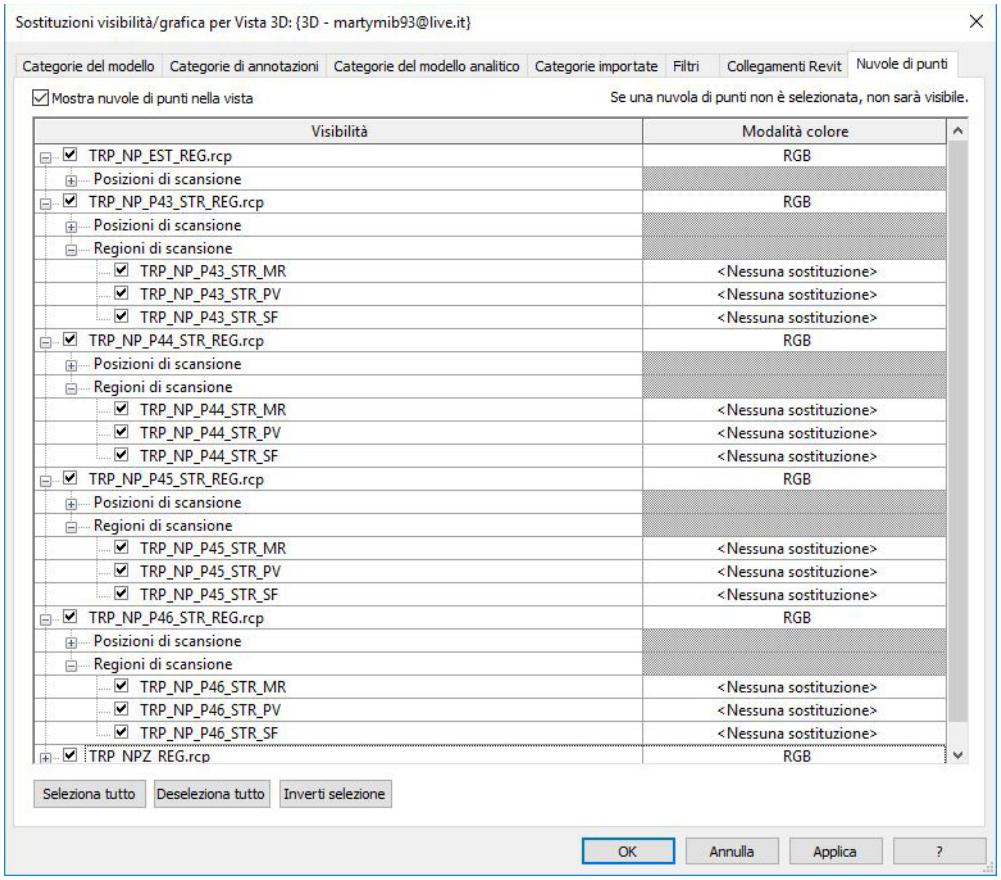


Fig.69 Gestione regioni nuvole di punti
Sostituzioni visibilità/grafica

La prima fase è stata quella di verifica con il modello realizzato sulla base dei file .dwg, e sono state apportate le prime modifiche, tra cui il riposizionamento e il ridimensionamento dei pilastri esterni. Si è potuto subito osservare come il posizionamento di

solai e setti portanti non seguisse l'orditura della griglia principale, e creando una vista di sezione è stato possibile notare che il posizionamento dei livelli non corrispondesse alla realtà.

Per questo motivo, il primo passo è stato posizionare alle quote corrette tutti i livelli, in modo da poter procedere alla modellazione senza incorrere in errori.

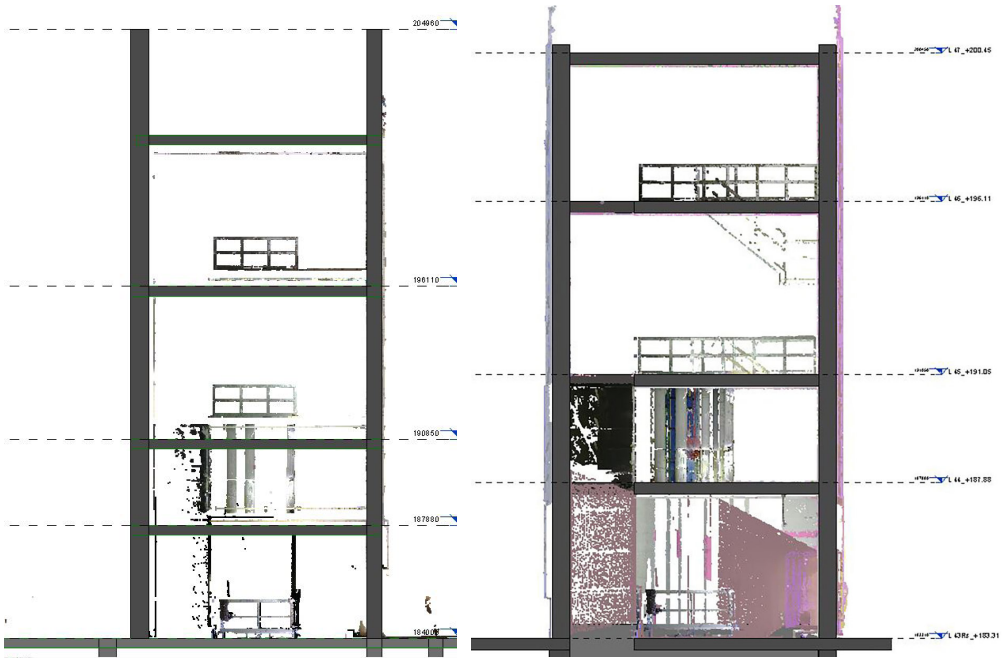


Fig.70 Confronto livelli tra modello as built ed as is

La modellazione è avvenuta per livelli, partendo dalla pianta del Livello 43_+183.31, per poi salire ai livelli successivi, in modo da gestire al meglio la visualizzazione delle regioni presenti all'interno del file. Si è partiti dalla modellazione dell'involucro esterno in modo da definire il perimetro esatto dell'edificio, e successivamente ci si è occupati della divisione interna.
Per quanto riguarda la partizione interna, si è notato sulla base del confronto tra documentazione esistente e misurazioni in loco, che la maggior parte dei muri risultava essere portante e quindi da non attribuire alla disciplina architettonica, la quale racchiude, come vedremo, divisori interni di spessore minore.

Dato l'obiettivo finale della tesi, la metodologia iniziale scelta per riprodurre la struttura portante è ricaduta sul del plug in *As Built*. Questa procedura però, data la semplicità della forma dell'edificio, si è rivelata lunga e complessa.

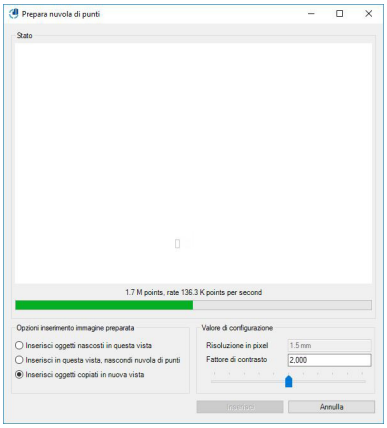


Fig.70 Preparazione nuvola di punti
Finestra di dialogo

Inizialmente l'applicativo richiede la preparazione della nuvola, per poter effettuare un monitoraggio delle pareti: in questa fase le pareti vengono pre-calcolate e visualizzate in un'immagine in scala di grigi. In questo modo viene generata una pianta pre-calcolata visibilmente più dettagliata rispetto alla pianta ottenuta dalla nuvola di punti non filtrata.

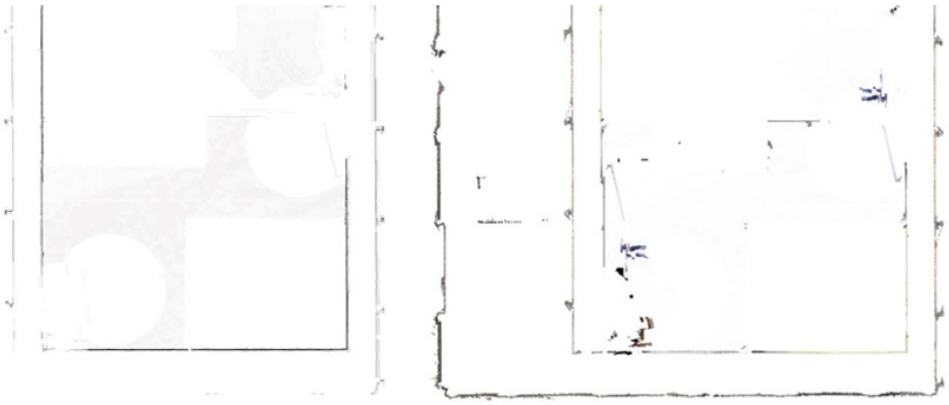


Fig.71 Confronto tra pianta ottenuta da nuvola di punti filtrata e non filtrata

Nella fase successiva, tramite il comando "Adatta parete", è possibile inserire in pianta i muri mancanti. Quando si procede alla selezione del comando è necessario selezionare due punti affinché il programma ne determini l'allineamento preciso e la larghezza.
Prima dell'inserimento, As Built cerca tutti i tipi di muro caricati nel progetto per trovare il tipo più appropriato in base alla larghezza determinata del muro e li offre in un elenco di preselezione.

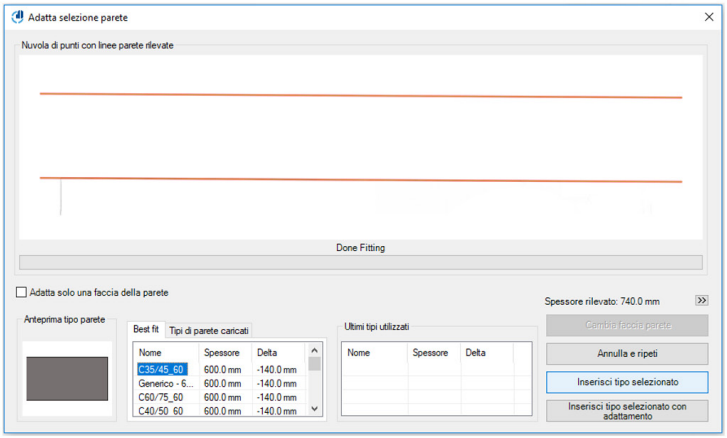


Fig.72 Adatta selezione parete
Finestra

Si può vedere che il processo di fitting ha riconosciuto una parete con uno spessore di 600.0 mm, quindi è stato suggerito il tipo di parete "C35/45_60". Una volta selezionata la tipologia desiderata è possibile effettuare l'inserimento.

Questo processo è da ripetere per tutti i muri presenti all'interno del progetto e, come si può notare dall'immagine, una volta finito occorre effettuare un processo di allineamento.

Dopo un primo momento di prova e sperimentazione di As Built si è deciso di creare le pareti attraverso la tradizionale, poiché, data l'estrema semplicità di forma dell'edificio e un livello di precisione accettabile della documentazione CAD, la procedura da svolgere tramite l'ausilio del *plug-in* risultava lunga e poco produttiva.

Gli ultimi piani della Torre sono quelli dedicati all'impiantistica del manufatto, per questo motivo sono presenti numerosi cavedi: il passo successivo è stato crearli tramite l'apposito comando "Apertura" -> "Apertura cavedio".

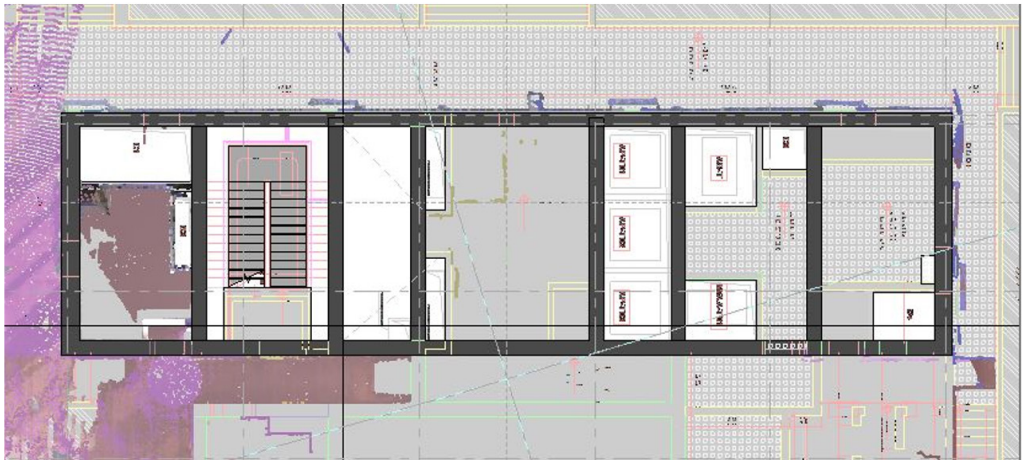


Fig.73 Creazione cavedi
Vista di pianta

La realizzazione del modello strutturale consente anche di visualizzare il modello analitico corrispettivo, cioè una rappresentazione del modello fisico strutturale costituita da elementi analitici, geometria, proprietà materiali e carichi. Viene generato automaticamente durante la creazione del modello fisico.
Il modello analitico deve quindi essere esportato in un'applicazione di progettazione e analisi.[47]

[47] Definizione modello analitico
https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ITA/Revit-GetStarted/files/GUID-DB1B675D-23D7-48D2-B1CC-2930519A50F6-htm.html

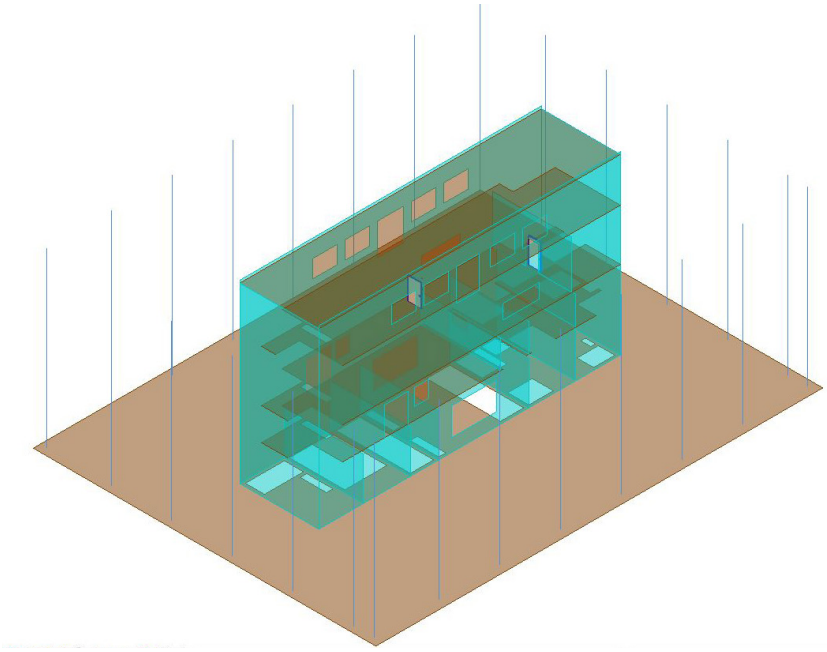


Fig.74 Modello analitico
Vista assonometrica

Una volta terminata la modellazione di tutti i componenti strutturali si è passati alla fase di inserimento dei parametri condivisi e alla loro compilazione. Queste informazioni sono state inserite all'interno di un abaco e successivamente esportato.

Abaco dei muri

Famiglia	Tipo	Identificatico	Affidabilità	Classi di Elementi Tecnici	Unità Tecnologiche	Classi di Unità Tecnologiche	Titolo MasterFormat	Codice MasterFormat
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L43_00001	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L43_00002	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L43_00004	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L43_00006	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L43_00005	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L43_00003	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L44_00001	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L44_00003	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L44_00002	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L43-L47_00001	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_50	TRP_TO_STR_MU_L43-L47_00001	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_60	TRP_TO_STR_MU_L45_00001	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C35/45_60	TRP_TO_STR_MU_L45_00002	1	4.1.2	4.1	4	Heavyweight Structural Concrete	03.31.13
Muro di base	C50/60_60	TRP_TO_STR_MU_L43-L47_00002	1	2.1.1	2.1	2	Post-Tensioned Concrete	03.08.00
Muro di base	C50/60_60	TRP_TO_STR_MU_L43-L47_00004	1	2.1.1	2.1	2	Post-Tensioned Concrete	03.08.00

Fig.75 Abaco muri strutturali

MODELLO ARCHITETTONICO

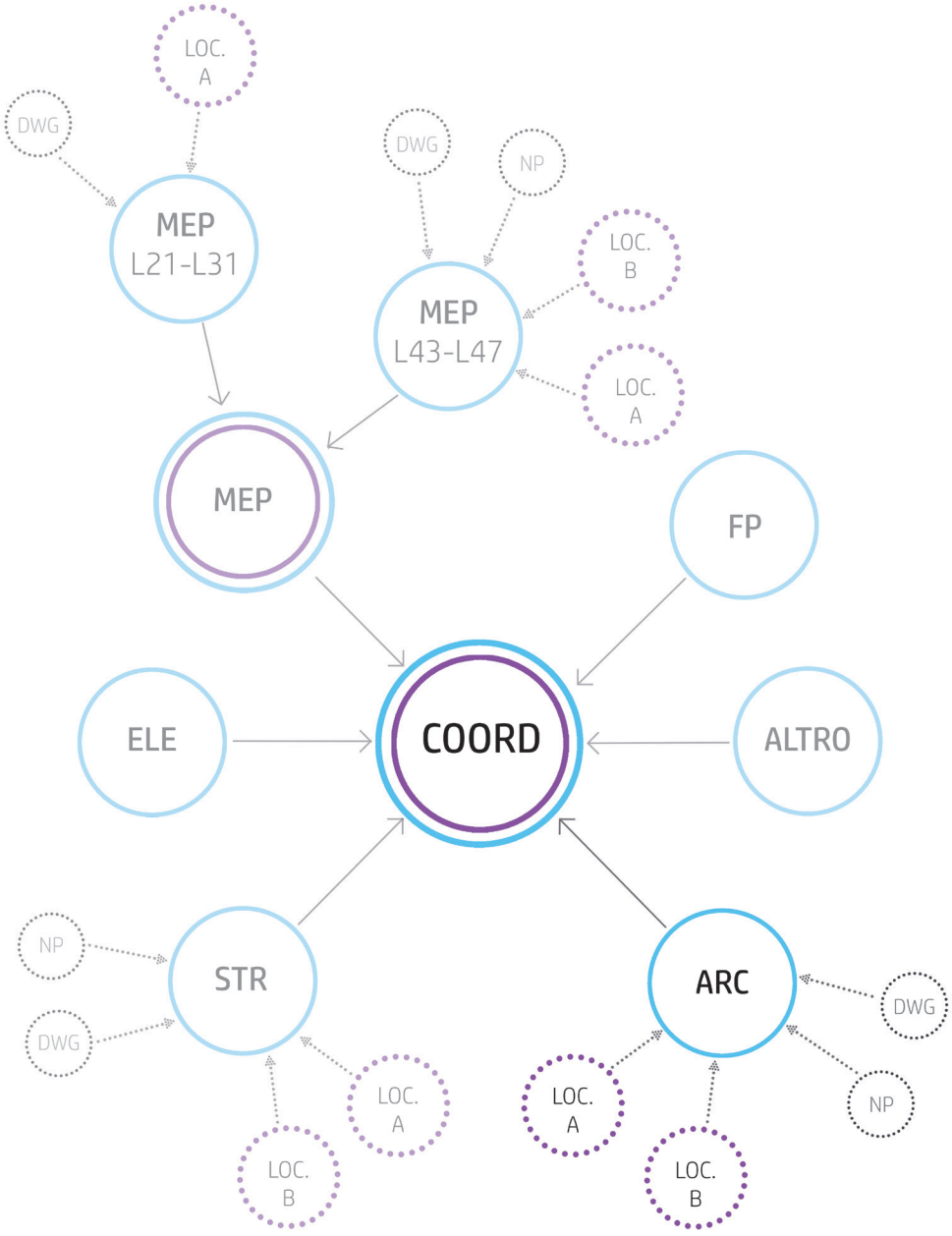


Fig.76 Architettonico
Sistema di condivisione per Torre Regione Piemonte

La modellazione degli elementi architettonici dei livelli oggetto di studio, è avvenuta successivamente a quella strutturale: una volta definito l'involucro dentro il quale sono organizzati gli spazi, è stato possibile orientarsi e creare partizioni interne, porte, pavimenti flottanti e scale in acciaio. A differenza della disciplina descritta in precedenza, la modellazione dei componenti architettonici realizzata prima del nostro intervento non ha superato il Livello 42_+179.34.

Anche in questo caso si è partiti dalla generazione di un modello centrale TRP_TO_ARC_CEN - attraverso la stessa procedura del file centrale strutturale – dal quale si è staccato un file locale, in modo da poter sincronizzare il lavoro con gli altri utenti. Poiché non è stata prodotta una modellazione antecedente, non è stato necessario svolgere una verifica preliminare.

Si è deciso di procedere per livelli, in modo da analizzare in maniera più approfondita i dati a disposizione: in questo ambito, i documenti CAD forniti dalla Direzione Lavori erano o poveri di informazioni o risalenti alle prime versioni del progetto. Per questo motivo si è deciso di seguire il dato di *input* nuvola di punti e le misurazioni prese in loco in modo da avere una corrispondenza maggiore con la realtà.

Il primo componente inserito all'interno del modello è stato il pavimento flottante del Livello _+183.31: nella parte Sud della pianta è stato posizionato sopra la soletta strutturale, mentre nella parte Nord è stato posizionato ad una quota maggiore di +1.25 m.
Questa tipologia di pavimento non è presente all'interno di Revit, quindi si è dovuto entrare nelle proprietà della famiglia e creare un nuovo tipo, rinominarlo secondo la codifica vista in precedenza, e modificarne la composizione affinché rispecchiasse le caratteristiche opportune.

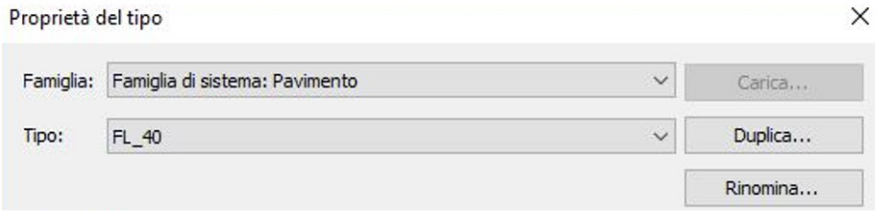


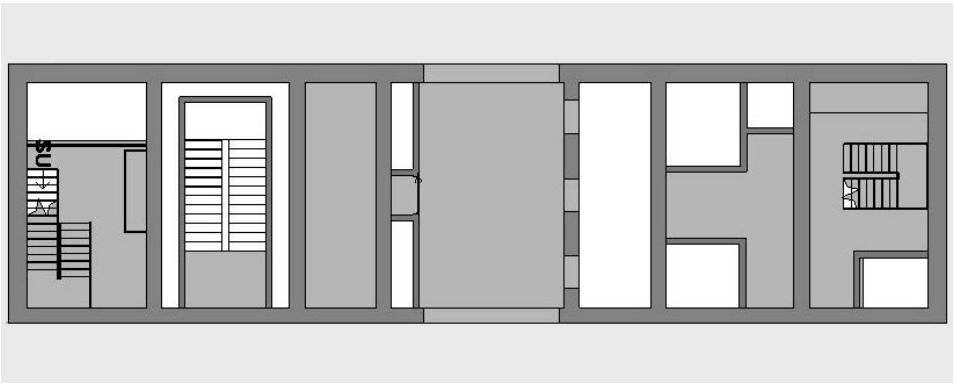
Fig.77 Duplicazione famiglia di sistema

Successivamente ci si è dedicati alla modellazione delle scale: questo momento ha richiesto una quantità di tempo maggiore rispetto alla modellazione di tutti gli altri elementi, poiché il software pone molti limiti a riguardo.

Le scale sono una particolare famiglia parametrica, definita di sistema, cioè una di quelle famiglie, che non può essere generata da zero ma può solamente essere duplicata e modificata nello specifico progetto. Sono molto complesse e al loro interno, infatti, contengono altre famiglie annidate come per esempio i montanti e le ringhiere. Può

essere definita in due modi principali: scala da componente o scala da disegno. La seconda tipologia, si presta bene alla realizzazione di forme particolari.
La logica con cui Revit considera la scala è sia fisica che funzionale, in pratica è definita come collegamento verticale che utilizza delle componenti parametriche, come pedate, montanti, alzate, che seguono determinate regole a loro volta legate a parametri, mantenendo la loro definizione semantica. [47]

Le problematiche riscontrate erano legate alla generazione automatica della scala da parte del *software* che le realizza in maniera notevolmente diversa rispetto alla realtà del rilievo: le alzate vengono posizionate tutte alla medesima distanza e le pedate vengono generate tutte con la stessa larghezza. Nonostante si possa intervenire nelle proprietà di questa famiglia, la personalizzazione per il raggiungimento di una maggiore fedeltà con il reale risulta essere un limite di Revit. Inoltre, essendo elementi indipendenti, sebbene venga definita la quota inferiore e quella superiore, i solai presenti non vengono forati automaticamente, quindi occorre eseguire manualmente questa operazione.



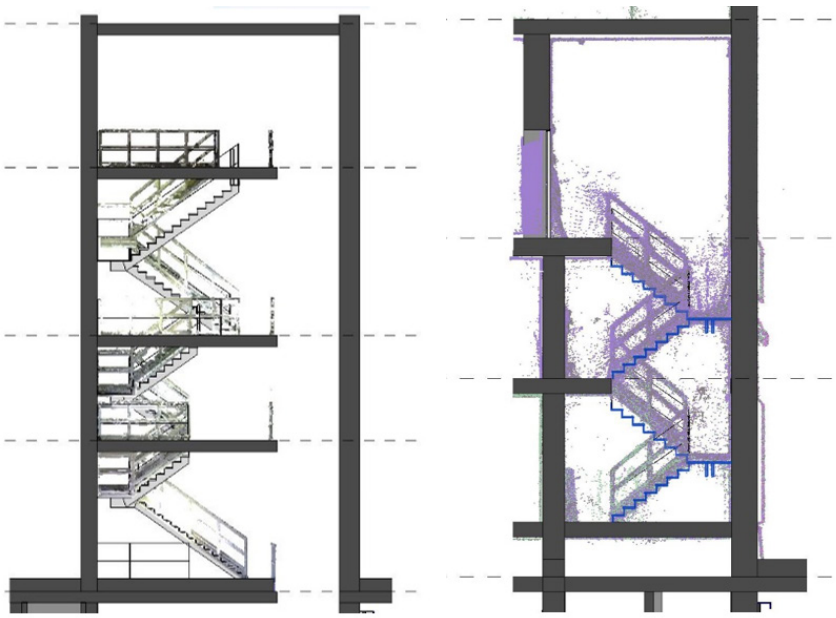


Fig.78 Pianta e sezioni in riferimento ai vano scala

[47] https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ITA/Revit-GetStarted/files/GUID-DB1B675D-23D7-48D2-B1CC-2930519A50F6-htm.html

Raggiunto un compromesso per la realizzazione delle scale, si è conclusa la creazione del modello architettonico inserendo le partizioni interne. Cosi come per le scale è stato necessario definire nuove tipologie di muri di base, basandosi sulle informazioni trovate.

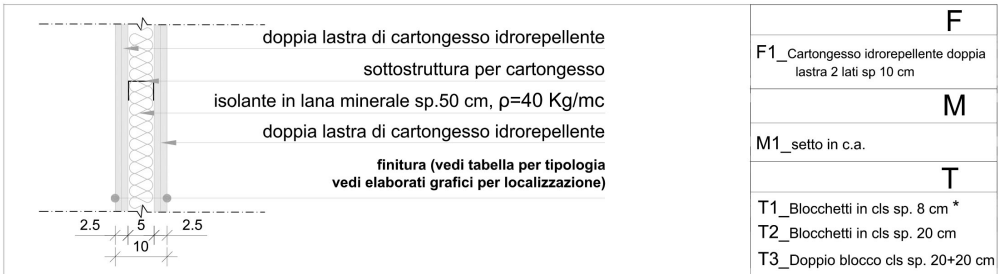


TABELLA FINITURE

COD.	DENOMINAZIONE	sp.(cm)	DESCRIZIONE
-	rustico	–	
a	tinteggiatura	≤0.3	
b	intonaco+tinteggiatura	1.5*	
c	ceramica	0.7*	piastrelle monocottura tipo serie Quartieri Marazzi, formato 10x10 cm, posato con idoneo collante*
d	mosaico	0.4*	tessere di mosaico tipo Opiocolor Vitrail Transparent, formato 20x20 mm, posate mediante adesivo poliuretanico*
e	resina	-	finitura incolore a base d'acqua e resina acrilica-poliuretanica tipo Sikkens modello Alpha clearcoat mat*
f	marmo	2	lastre di marmo verde alpi Barcellona Extra tipo Pibamarmi
g	vetro retrosmalato	4.1	fissativo antipolvere protettivo trasparente all'acqua sp.2mm, vetro retrosmaltato tipo Decorgem della Omnidecor
g1	vetro retrosmalato	16.6	fissativo antipolvere protettivo trasparente all'acqua sp.2mm, vetro retrosmaltato tipo Decorgem della Omnidecor
g2	vetro retrosmalato	24.1	fissativo antipolvere protettivo trasparente all'acqua sp.2mm, vetro retrosmaltato tipo Decorgem della Omnidecor
h	antipolvere	0.2	fissativo antipolvere protettivo trasparente all'acqua sp.2mm,

Fig.79 Estratto .pdf PR_3_C_A_A_T0703_01 abaco murature.

Abaco dei muri

Famiglia	Tipo	Identificatico	Affidabilità	Classi di Elementi Tecnici	Unità Tecnologiche	Classi di Unità Tecnologiche	Titolo MasterFormat	Codice MasterFormat
Muro di base	T2a_18	TRP_TO_ARC_MU_L43_00001	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00002	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00002	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00002	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00003	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00005	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00003	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00004	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00006	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00003	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L43_00006	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L44_00006	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L44_00005	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L44_00006	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L44_00004	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L44_00007	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	CF2c_10	TRP_TO_ARC_MU_L44_00001	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	CF2c_10	TRP_TO_ARC_MU_L44_00002	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	CF2c_10	TRP_TO_ARC_MU_L44_00002	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	C_5	TRP_TO_ARC_MU_L44_00003	1	7.1.1	7.1	7	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	C_5	TRP_TO_ARC_MU_L44_00003	1	7.1.1	7.1	7	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	C_5	TRP_TO_ARC_MU_L44_00003	1	7.1.1	7.1	7	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L44_00008	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T2a_20	TRP_TO_ARC_MU_L44_00008	1	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T1a_10	TRP_TO_ARC_MU_L45_00001	2	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T1a_10	TRP_TO_ARC_MU_L45_00001	2	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16
Muro di base	T1a_10	TRP_TO_ARC_MU_L45_00001	2	3.1.1	3.1	3	Prefinished Plywood Paneling	06.25.16

Fig.80 Abaco delle partizioni interne

I muri modellati acquisiscono la funzione di host per porte e finestre: non è possibile posizionarle su altri componenti. Le porte sono una famiglia parametrica caricabile e per far sì che il *software* le riconosca senza rischiare di andare in contro ad errori è necessario che siano modellate in modo tale da bucare interamente la parete.
Anche in questo caso è stato necessario modificare le proprietà di tipo di porte esistenti e crearne delle nuove sulla base delle informazioni trovate su .dwg e documenti .pdf PR_3_C_A_A_T0704_05_abaco porte.

MODELLO MEP

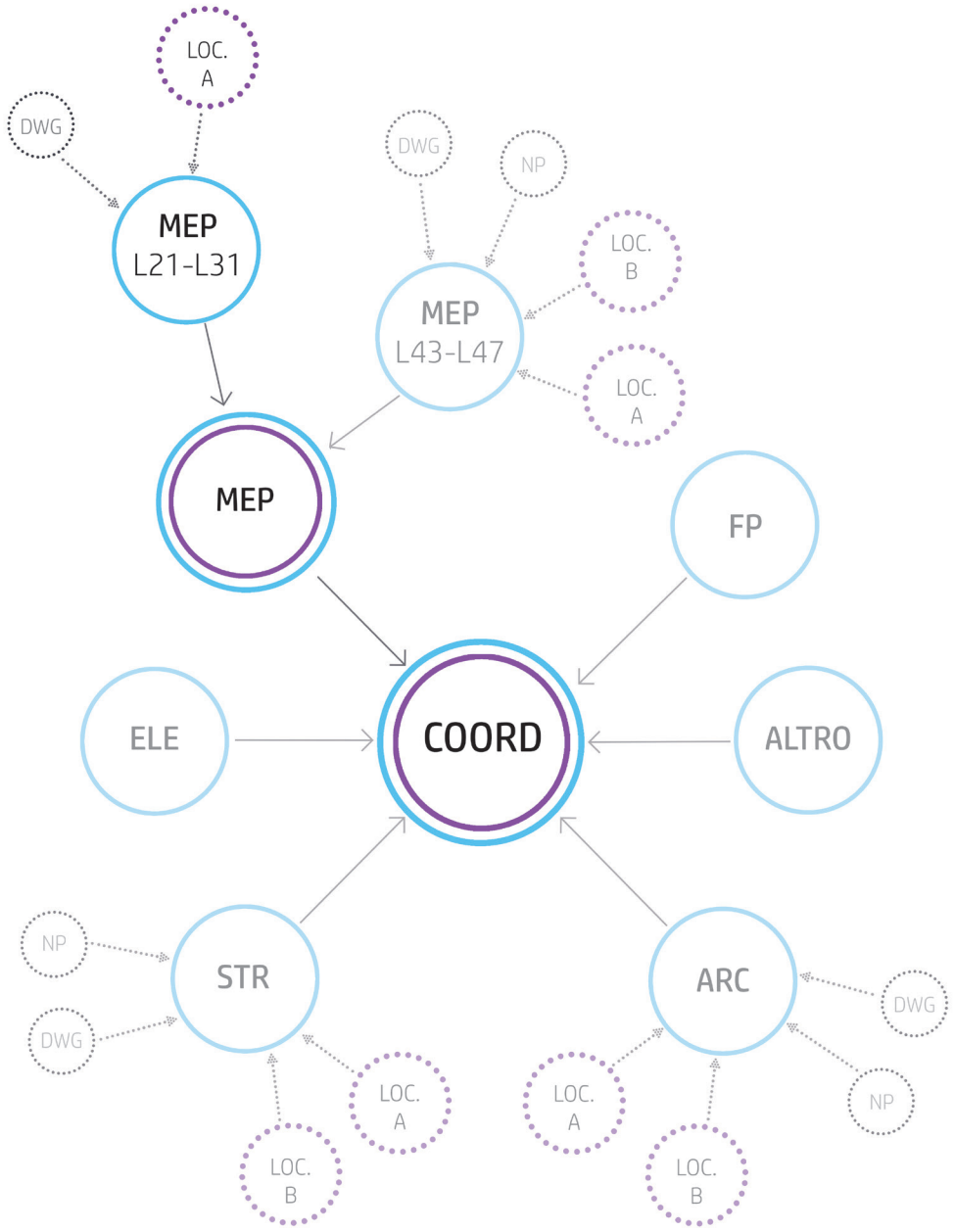


Fig.81 MEP
Sistema di condivisione per Torre Regione Piemonte

La modellazione degli impianti meccanici ha seguito un processo differente rispetto alle due discipline affrontate in precedenza: mentre architettonico e strutturale prevedevano il distacco di un file locale dal centrale, in questo caso, a causa di limiti di gestione di file dovuti al superamento di un determinato peso, è stato necessario dividere l'intera Torre in di blocchi di dieci piani ciascuno.
Inoltre, com'è possibile vedere nello schema precedente, la disciplina meccanica prevede un file di coordinamento nel quale sono collegati file centrali inerenti a ciascun settore; per questo motivo il file di riferimento è TRP_TO_MEP_HVAC_CEN_L43-47.

L'impianto è stato scomposto in due categorie: Arie e Acqua. La strategia utilizzata per la condivisione delle informazioni è ricaduta nei *workset* i quali consentono di trasferire tutti dati in tempo reale effettuando una sincronizzazione con il modello centrale. Sono stati creati, infatti, tanti *workset* quanti sono i piani: in questo caso si è dovuto crearli non solo in base ai piani del modello ma anche in base alle due tipologie di impianti creati – aria e acqua.

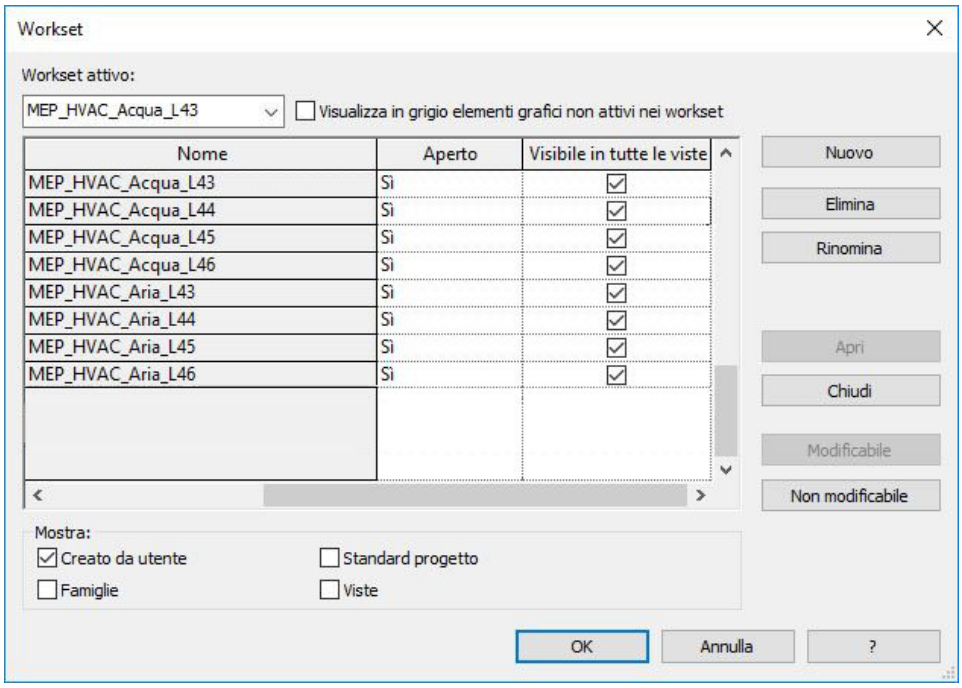


Fig.82 finestra workset creati

Se per gli altri piani la modellazione è avvenuta secondo una classificazione as built, in questo caso si è utilizzato come documento la nuvola di punti rielaborata in precedenza, poiché le informazioni relative alla disciplina meccanica dei livelli in questione, si sono rivelate insufficienti.

Pima di iniziare la fase di modellazione, oltra a definire i *workset*, sono state create delle viste di progetto specifiche per ciascun piano e tipologia di impianto, le quali rispecchiavano le esigenze del modello.

È possibile attribuire alle viste un'apposita impostazione – modelli di vista - che permette di visualizzare solo gli elementi appartenenti a una delle due categorie e viceversa. Di seguito è riportato il browser di progetto con le viste stabilite per agevolare la modellazione.

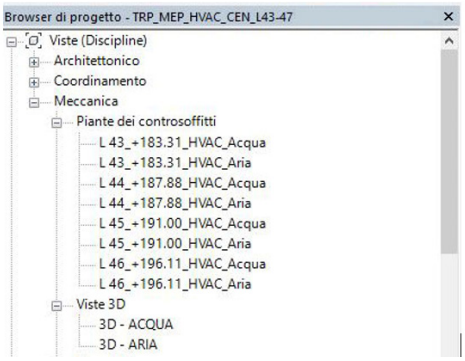


Fig.83 browser di progetto
Piante create

Nelle viste inerenti alla parte idraulica sono presenti solo tubazioni, raccordi e i rispettivi accessori, mentre nelle viste della parte areica sono presenti le canalizzazioni rettangolari e i bocchettoni corrispondenti. In entrambe sarebbe necessario inserire anche le Unità di Trattamento Aria, ma si è deciso di inserirli in un *workset* a parte – MEP_HVAC_MEC_S_L43-47 – poiché essendo le sorgenti di entrambi gli impianti, sarebbe errato appropriarli ad una o all'altra categoria. Definite tutte le viste, si è proceduto alla modellazione che è avvenuta in simultanea tra le due categorie.

MODELLAZIONE SORGENTI

Se per le discipline precedenti si è deciso di modellare dai livelli inferiori verso quelli superiori, in questo caso si è effettuata la scelta contraria. Infatti, al livello 46 sono presenti le due UTA – Nord e Sud - che forniscono tutta la Torre in termini di aria e acqua; al livello 45 si può trovare un'UTA dedicata all'estrazione fumi e apparecchiature appartenenti al settore idrico-sanitario, mentre al livello 44 il locale è dedicato interamente alle UTA di pressurizzazione degli ascensori.Questi componenti sono stati realizzati per primi perché essendo, appunto, le sorgenti dei vari impianti era necessario che fossero presenti per ciascun piano al momento della modellazione dei tubi e condotti.

I componenti, i macchinari e le attrezzature prefabbricati generalmente non sono presenti tra le famiglie di sistema all'interno di Revit: le Unità di Trattamento Aria, essendo famiglie caricabili sono state create dal nuovo utilizzando come base un modello generico di attrezzatura meccanica. Quest'ultime sono state rappresentate mediante parallelepipedi che rappresentano le diverse sezioni del macchinario: questo livello di dettaglio LOD D è stato scelto dopo aver determinato la linea guida di progettazione con la Direzione Lavori. Questi elementi sono a tutti gli effetti delle "scatole vuote" prive di semantica alle quali sono stati inseriti i connettori dei vari condotti e tubazioni.

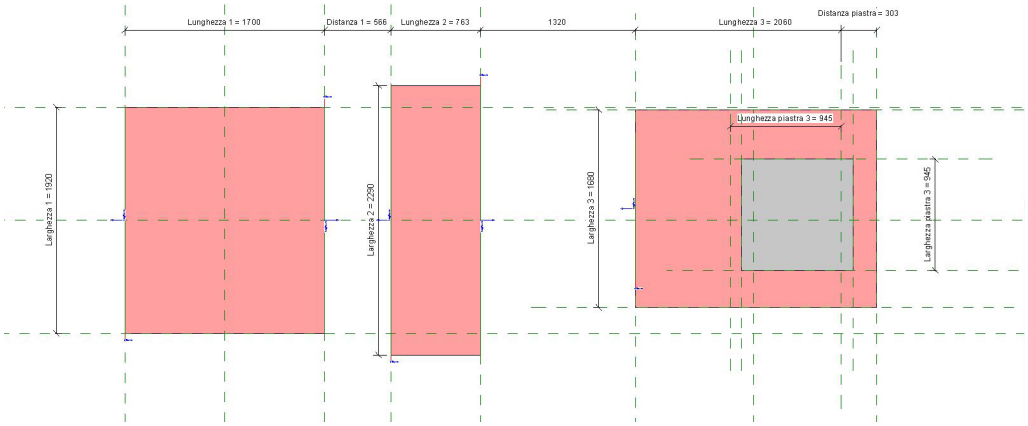


Fig.84 Famiglia - Attrezzatura meccanica
Pianta di riferimento

Poiché gli unici elementi ha possedere delle informazioni sono proprio i connettori, è necessario porre molta attenzione durante la loro ubicazione. Quando si crea un connettore è possibile scegliere se inserirlo di mandata o di ritorno: questo è molto importante perché una volta caricata la famiglia all'interno del modello, sarà impossibile collegare un condotto o una tubazione di mandata, ad esempio, ad un connettore di ritorno. Il passaggio è possibile ma a livello di gerarchizzazione non viene mantenuto il circuito unito. All'interno della Centrale Termica sono state posizionate 12 UTA, per un totale di 30 connessioni relative ad aria e acqua.

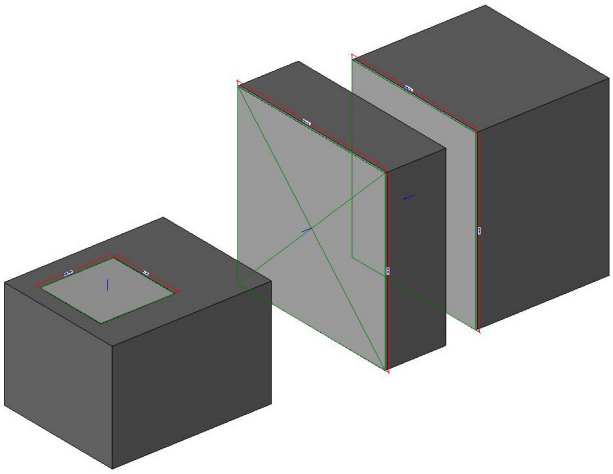


Fig.85 Famiglia - Attrezzatura meccanica
Vista assonometrica

MODELLAZIONE IMPIANTO DI AERAZIONE

La modellazione dei condotti di ventilazione è avvenuta utilizzando come documento di base la nuvola di punti: poiché As Built for Revit non ne prevede il riconoscimento e l'autorizzazione si è proceduto effettuando sezioni della nuvola nei punti necessari.
Prima di iniziare il disegno dei componenti, è stato necessario un incontro con la committenza e un'ulteriore ricerca tra la documentazione fornita per capire quali fossero i terminali dei condotti che sarebbero stati modellati. in questa fase preliminare si è fatto riferimento al file PR_3_C_M_Z_T013_02.dwg
I canali delle sorgenti UTA Nord e UTA Sud, dal piano 46 si direzionano verso il livello 42 dove si dirameranno su tutto il piano per poi

scendere ulteriormente.
I primi componenti ad essere modellati sono state, appunto, le canalizzazioni rigide per poi passare agli elementi di dettaglio. Concettualmente è possibile, quindi, dividere i condotti in due settori: quelli che nascono, si sviluppano e terminano nello stesso livello e quelli che, invece, attraversano più livelli poiché fungono da colonna montante - un esempio è il canale di mandata della macchina termica Sud. Come già accennato in precedenza, il *plug-in* utilizzato non permette il riconoscimento automatico delle canalizzazioni di areazione, perciò, sezionando la nuvola più volte le misure necessarie al posizionamento degli elementi sono state ottenute tramite il comando "Modifica" -> "Misura"

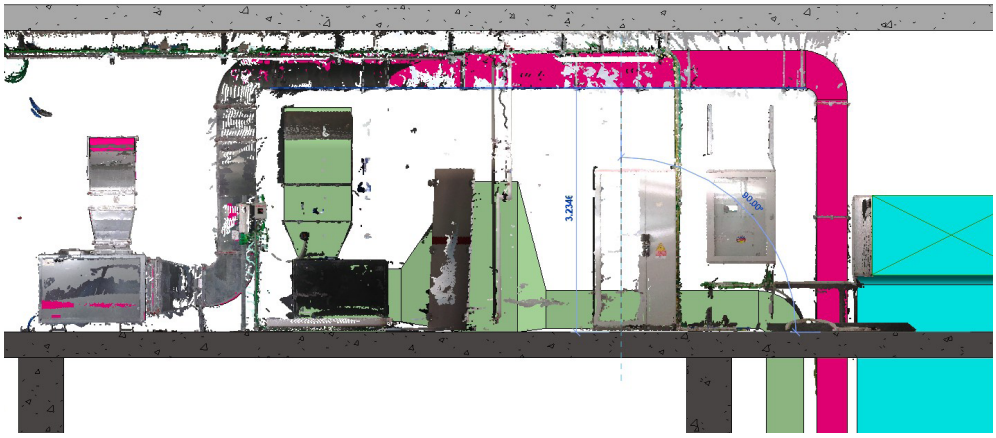


Fig.86 Misurazione tramite nuvola di punti sezionata

I condotti presentano sezioni rettangolari di dimensione variabile, per questo motivo si è dovuto inserire particolari raccordi modellati ad hoc in base alle necessità: le transizioni. Queste permettono di connettere sezioni differenti senza incorrere a scollegamenti da parte del *software* o ad adattamenti non corrette. Successivamente sono stati modellati i bocchettoni di estrazione, partendo dalle famiglie già presenti in Revit, e adattando i parametri necessari.La Centrale Termica ha portato alla modellazione di otto circuiti rappresentati dai colori stabiliti nel progetto as built fornito dalla committenza.

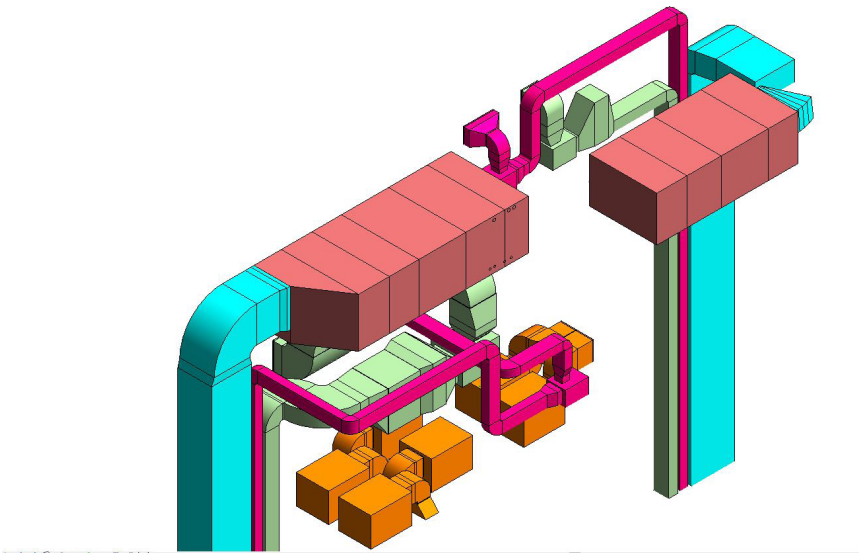


Fig.87 Vista assonometrica impianto areico

MODELLAZIONE IMPIANTO IDRONICO

In parallelo alla modellazione dell'impianto areico, è avvenuta quella della parte idronica.
In questo caso si è scelto di iniziare lo sviluppo del sistema dalla colonna verticale per poi risalire al livello 46 dove sono posizionate le UTA sorgenti dell'intero impianto.
Dato il numero elevato di tubazioni, e la loro complessità, si è scelto di realizzarle per la maggior parte utilizzando la modellazione automatizzata con l'ausilio del *plug-in* As Built. Nonostante richieda una quantità ingente di lavoro, questa procedura risulta alquanto precisa e riproduce il posizionamento degli elementi nello spazio reale. Nella fase di modellazione è possibile creare condotti e tubazioni sezionando la nuvola e seguendo la sagoma dei punti intercettati dal piano di sezione, ma soprattutto possono essere utilizzati come base di riferimento per i comandi di disegno e modellazione nei *plug-in* che riconoscono tali punti automaticamente.

Il primo passo, così come per la lavorazione precedente, è stato il caricamento delle regioni di nuvole di punti .rcs contenenti la parte impiantistica. Una volta caricata correttamente, la nuvola di punti viene visualizzata ed evidenziata ogni volta che il puntatore del mouse passa sopra di essa. Per questo motivo è opportuno disattivare la selezione dei collegamenti, in modo da essere più agevolati nella modellazione.

La sequenza di passaggi per la creazione delle tubazioni collegate avviene effettuando lo stesso procedimento, già illustrato precedentemente per i muri. In questo caso i passaggi principali sono stati:
- Creazione dei tubi e successivo adattamento di diametro
- Inserimento dei raccordi
- Controllo vincoli e connessioni

Per iniziare la modellazione occorre selezionare il comando "Ottimizzazione Tubo", e scegliere due punti ungo la superficie della nuvola: i punti non devono trovarsi precisamente all'inizio e alla fine del tubo. Sulla base dei punti selezionati As built determina il diametro del tubo e suggerisce un segmento di tubo adatto.

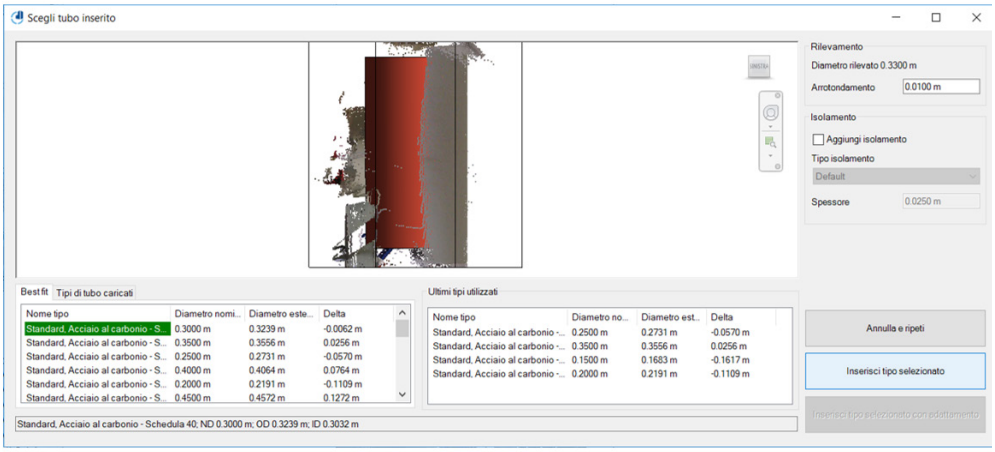


Fig.88 Inserimento tubo
plug-in As Built

Nel riquadro di anteprima della finestra di dialogo è possibile verificare visivamente il montaggio del tubo sulla nuvola di punti. Nella lista "Best Fit" viene visualizzato in cima all'elenco il segmento di tubo più adatto con diametro nominale, diametro esterno e delta al diametro determinato nella nuvola di punti. Se si volesse utilizzare un altro segmento di tubo, è possibile selezionare un'altra voce nell'elenco. Una volta scelto, l'elemento viene inserito nel progetto e si può procedere al montaggio del sistema.
Nel caso in cui si verificasse la presenza di due tubi aventi diametri diversi, è possibile creare un raccordo tramite il comando "Luogo del raccordo di tubo": viene visualizzata una finestra di dialogo in cui è possibile creare un nuovo diametro per il segmento selezionato in base al diametro rilevato del tubo.

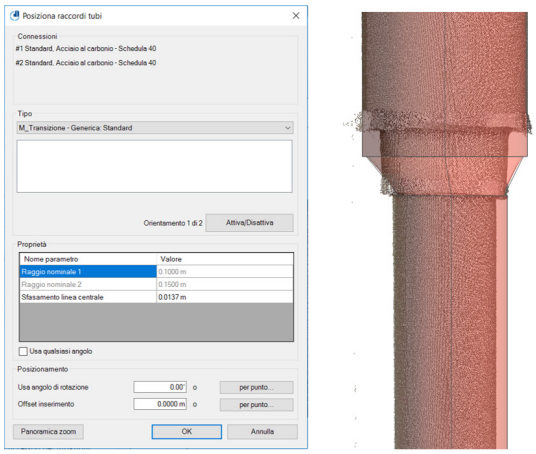


Fig.89 Inserimento raccordo tubo
plug-in As Built

Nella parte superiore della finestra di dialogo viene mostrato, come informazione, il giunto del tubo selezionato. In basso, invece, si può selezionare il componente che deve essere inserito; gli unici componenti elencati sono quelli adatti per il giunto del tubo selezionato. Il raccordo selezionato viene visualizzato nel progetto per il controllo: i componenti utilizzati più di recente vengono visualizzati nell'elenco sotto la casella di selezione dove è possibile effettuare la scelta del tipo e posizionarlo. A seconda di come sono stati selezionati i punti, è possibile che il raccordo non si sia stato posizionato abbastanza vicino al tubo.
Questa correzione non è necessaria in questa fase, poiché successivamente è prevista una fase di allineamento automatico che porterà i componenti nella posizione corretta.

Infatti, osservando da vicino i componenti, è possibile notare piccoli spazi tra le singole parti: la motivazione sta nel fatto che gli assi delle tubazioni, attraverso il montaggio preciso dei tubi sulla nuvola di punti, non sono coassiali e complanari tra loro. Anche se i componenti inseriti possiedono un angolo preciso di 90°, per ottenere un tubo collegato, i vincoli di coerenza devono essere soddisfatti per primi. Per fare ciò è possibile utilizzare il comando il comando "Allineamento" -> "Allinea tubi"

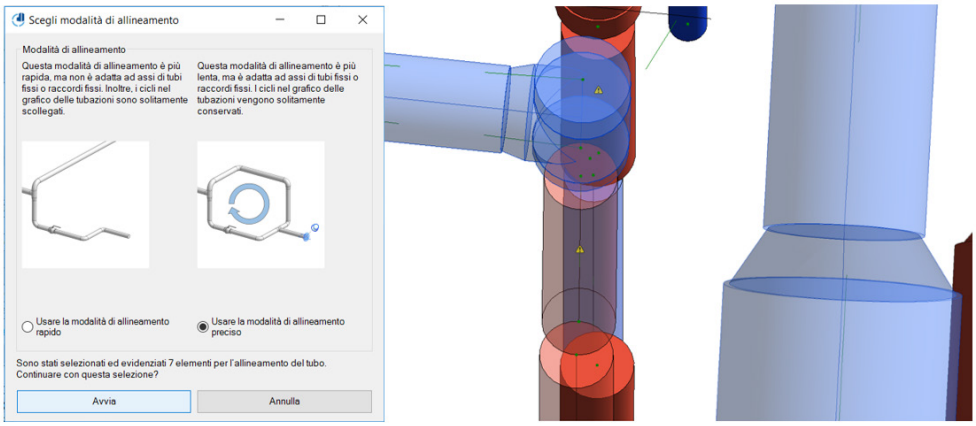


Fig.90 Allineamento tubi
plug-in As Built

A tal proposito, durante la modellazione della colonna montante si è dovuti ricorrere a dei compromessi: poiché nella realtà le tubazioni risultano essere inclinate, utilizzando l'automatizzazione e successivamente l'allineamento, l'inclinazione veniva mantenuta generando una sezione dei tubi molto varia. Poiché il fine ultimo del modello è il *Facility Management*, quindi la gestione e manutenzione dell'impianto, non si è ritenuto efficiente modellare seguendo perfettamente la realtà, ma si è scelto di seguire un allineamento perfettamente verticale in modo da limitare gli errori durante la modellazione.

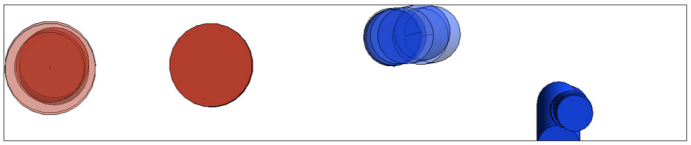


Fig.91 Sezione orizzontale colonna verticale
plug-in As Built

Bisogna sottolineare però, che in questa fase preliminare della lavorazione, utilizzando la nuvola di punti come dato *input* si genera, aggiungendo al modello *as is*, essenzialmente la geometria degli elementi privi di semantica.

La fase più importante della lavorazione è la definizione di un livello di dettaglio necessario al modello: in questi casi si è scelto un LOD D, il quale contiene il numero di informazioni necessarie per la finalità del modello.

RISULTATI

Il panorama attuale è un panorama in continua evoluzione dove al momento sussistono tecnologie orientate al rilievo digitale caratterizzato da un'elevata risoluzione, compiuto con strumenti tra cui laser scanner e potenti *software* in grado di convertire queste scansioni in nuvole di punti. Ciò permette di poter trasformare, modificare e successivamente analizzare – anche in un periodo successivo – i rilievi svolti, condividendone al meglio tutte le informazioni ricavate.

Ciò che rende la metodologia BIM vantaggiosa è la molteplicità di utilizzo del modello: esso, infatti, non è utile solo alla progettazione ma essendo un insieme di informazioni eterogenee, è possibile analizzare, grazie all'ausilio di *plug-in* per *software* BIM, diversi dati e restituirne i risultati successivamente esser stati rielaborati. I principali risultati che si possono ottenere dal modello sono di tipo geometrico: è possibile effettuare un'analisi dei volumi, comparare gli spazi pieni e vuoti, ricavare aree e perimetri a causa della scarsità di documenti, si è scelto di effettuare un'analisi inerente alla deviazione tra nuvola di punti e modello.

Le differenti tipologie di approccio che si possono attribuire al modello BIM creato sull'esistente, utilizzato come base per i processi successivi, dimostrano la versatilità della progettazione BIM.
Il modello BIM diventa, dunque, oggetto di analisi utile ad unificare informazioni eterogenee provenienti da più figure professionali, in modo da ottenere un flusso di dati continuo e sempre più dettagliato durante lo sviluppo del processo di progettazione.
La condivisione di dati proveniente da analisi di diverso genere è una parte fondamentale della programmazione BIM e soprattutto non è un percorso lineare ma è ciclico ed incrementale, dove ogni step aggiunge conoscenza al modello.[48]

[48] Finalità modello BIM
Tesi di Laurea, *Scan2BIM: processi e metodologie per il rilievo digitale e la restituzione parametrica e semantica della Rocca di Reggiolo in modello BIM* - Mattia Fantini

3.1 VALIDAZIONE DATI: as built/as is

La modellazione della Centrale, come già illustrato nei capitoli precedenti, è avvenuta utilizzando la documentazione fornita dalla Direzione Lavori integrata ad un rilievo laser scanner. Al fine di ottenere un modello con un'accuratezza maggiore, durante la modellazione ogni elemento è stato disegnato seguendo la fonte più attendibile, per questo motivo si è preferito dare più importanza ai dati relativi la nuvola di punti. Nei casi in cui non è stato possibile accedere in prima persona ed effettuare un rilievo più preciso sono stati seguiti i disegni forniti. Come già spiegato in precedenza, ogni elemento modellato è caratterizzato da un parametro di tipo, relativo all'affidabilità della modellazione.

Una volta ultimato il modello BIM, sia nel caso di una modellazione tradizionale sia attraverso un'applicazione *SCANtoBIM*, è possibile compararlo con il reale in modo da ottenere un unico modello informativo in cui risaltano conformità e discrepanze. Questa fase può avvenire in diversi modi, ma è opportuno svolgere un'analisi preliminare sulla metodologia adottata e sulla quantità di informazioni possedute a priori per poter decidere il procedimento di analisi.

Nel caso preso in questione, si è deciso di continuare la suddivisione per discipline – architettonico, strutturale, MEP – verificando che in ogni caso gli elementi modellati combaciassero il più possibile con quelli reali rappresentati dalla nuvola. Questa validazione può rivelarsi molto vantaggiosa poiché permette di modificare e correggere nell'evenienza le discrepanze, sia di capire se sono presenti delle carenze nella nuvola di punti – ciò comporterebbe un'ulteriore aggiunta di informazioni attraverso un'analisi diretta in loco.

Nelle viste create automaticamente dal *software* il modello *as is* prodotto coesiste con la nuvola di punti rilevata: è possibile osservare la loro sovrapposizione ma non è possibile effettuare una comparazione più dettagliata senza l'ausilio di un *plug-in* di supporto. Inoltre, nel momento in cui viene concordato il grado di dettaglio e lo scopo della realizzazione del modello, sarà più semplice stabilire il margine di errore ammissibile.

L'analisi della superficie calcola la deviazione dalla superficie del modello Revit alla nuvola di punti caricata all'interno per la precedente modellazione, ed è possibile effettuarla tramite il comando As built -> "Calcola"

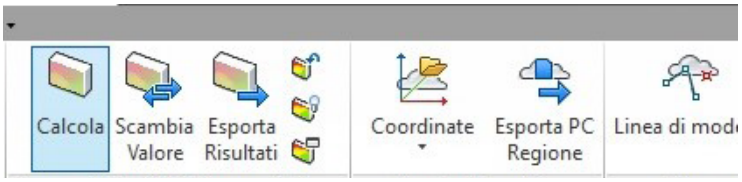


Fig.92 Comando Calcola plug-in As Built

Poiché l'analisi non può avvenire senza il riconoscimento di almeno una nuvola di punti all'interno, è necessario renderle attive tramite il comando "As built" -> "Mostra o Mostra Pc" in modo da non incorrere nell'errore di visualizzazione. Questo comando però, rende visibili tutte le nuvole che sono possedute all'interno del modello; nel caso in cui alcune non fossero oggetto di analisi è possibile spegnerle tramite "Vista" -> "Visibilità/grafica" -> "Nuvole di punti".

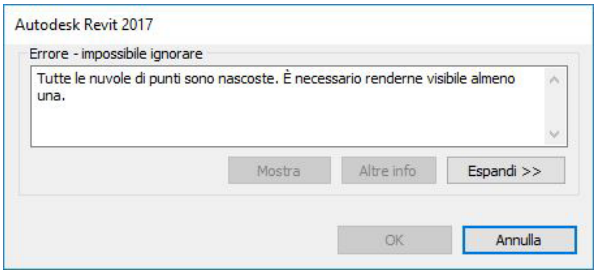


Fig.93 Errore di visibilità nuvole
Finestra di dialogo - plug-in As Built

Nel momento in cui Revit rileva all'interno del modello almeno una nuvola attiva è possibile visualizzare la finestra di dialogo tramite la quale possono essere controllate le facce da selezionare per l'analisi. Quando si lavora con As built for Revit è opportuno evitare di nascondere singole scansioni o regioni, in modo da ottenere durante la fase di analisi un risultato più preciso e accurato.

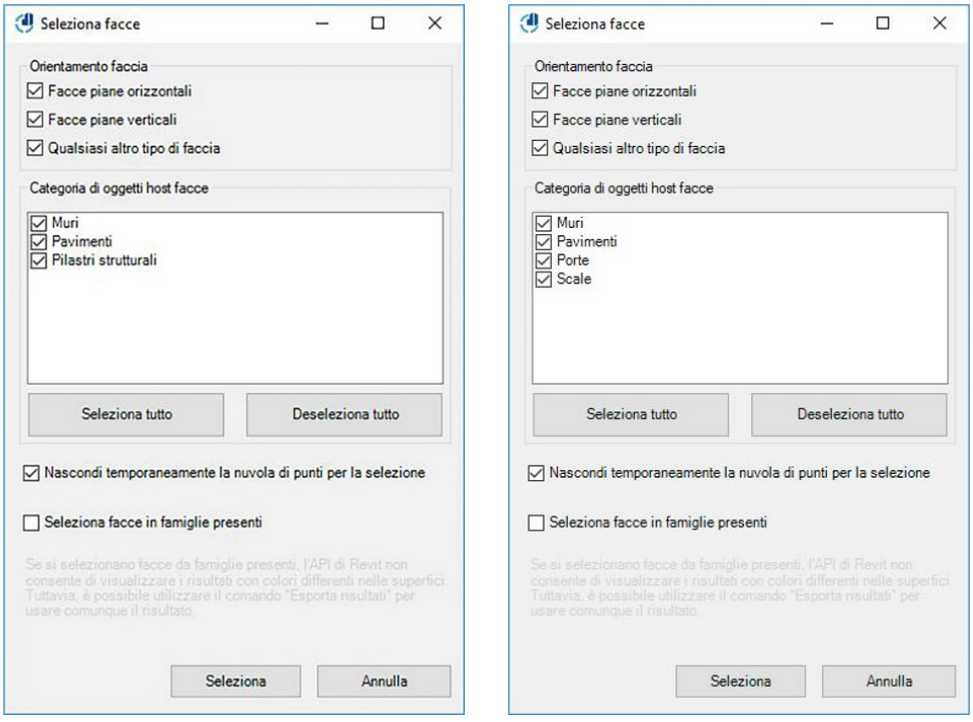


Fig.94 Finestra di selezione facce per avviare l'analisi
Modello Strutturale a sinistra e modello architettonico a destra - plug-in As Built

In questa finestra le facce presenti nel modello vengono divise in tre gruppi:
- Facce piane orizzontali: il primo gruppo consente la selezione delle facce rispetto al loro orientamento spaziale orizzontale
-Facce piane verticali: il secondo gruppo consente la selezione delle facce rispetto al loro orientamento spaziale verticale

- Qualsiasi altro tipo di faccia: è possibile associare facce a componenti host specifici. Qui vengono visualizzate tutte le categorie di componenti presenti nel progetto. È possibile selezionare tutto o scegliere gli elementi oggetto di analisi.

È conveniente durante la selezione nascondere temporaneamente la nuvola di punti per agevolare la visualizzazione dei diversi componenti.

Dopo aver terminato di selezionare le superfici di interesse, è sostanziale scegliere con premura i parametri di analisi. La validazione viene effettuata sulla scomposizione delle superfici in griglie composte da celle di cui si definiscono altezza e larghezza. Questo parametro modifica la quantità di punti massimi in analisi presenti all'interno della griglia sulle superfici selezionate.
Nello stesso momento è fondamentale la definizione del parametro di distanza massima dalla superficie: esso definisce il range attorno alla superficie in cui i punti devono essere considerati per l'analisi della deviazione.

In questa fase è possibile analizzare solo il lato positivo della superficie, consentendo di prendere in considerazione solo le deviazioni della nuvola di punti sulla superficie esterna del modello.

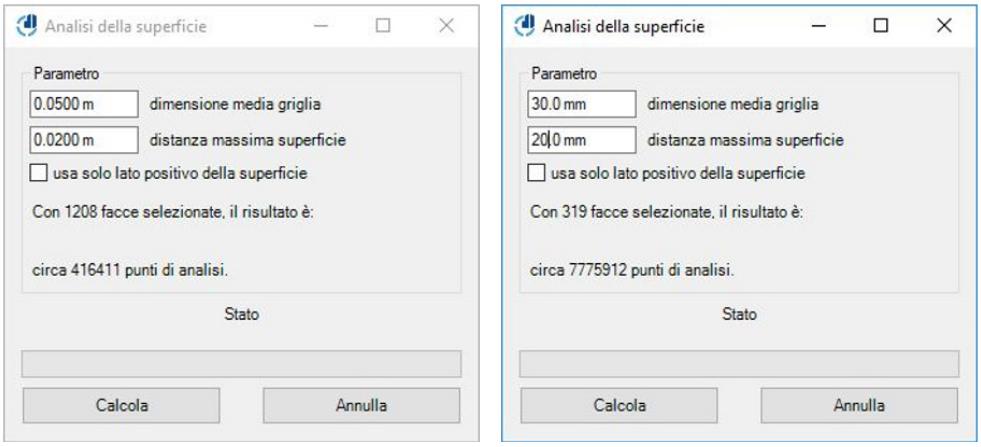


Fig.95 Impostazione parametri per avviare l'analisi
Modello Strutturale a sinistra e modello architettonico a destra - plug-in As Built

Per lo sviluppo della tesi si è scelto di dividere il modello architettonico in una griglia suddivisa in celle di dimensione media 5 cm, poiché gli elementi oggetto di analisi sono muri, pavimenti flottanti e porte; nel caso del modello strutturale, invece, si è deciso di dividerlo in celle da 3 cm in modo da poter eseguire un'analisi più precisa.

La distanza massima dalla superficie, contrariamente, è stata impostata a 2 cm in entrambi i casi. Inoltre, si è preferito considerare durante l'analisi anche il lato negativo dell'elemento esaminato mettendo in evidenza anche il discostamento in negativo tra nuvola di punti e modello. Il momento di elaborazione dei dati dipende dalle dimensioni delle celle e dal range di analisi stabiliti in precedenza: a dimensione

distanza minori corrisponde una tempistica più prolungata – nel nostro caso 4 ore circa per ciascuna analisi.

As built per Revit rappresenta la deviazione in base al *Level* of Accuracy - LOA – colorando le aree selezionate nei colori rosso, verde e blu. Le aree verdi rientrano nella tolleranza definita dalla LOA mentre le aree blu e rosse rientrano nelle aree interne ed esterne dell'oggetto.
I risultati dell'analisi dei due modelli in esame vengono visualizzati attraverso un'immagine falsata a colori su ciascuna delle rispettive superfici.

La visualizzazione dei risultati dell'analisi non viene salvata nel file si progetto Revit: tuttavia i risultati del calcolo vengono salvati, in modo che, al momento della riapertura del progetto, sia possibile ricaricare la visualizzazione con il comando dedicato "Strumenti di analisi superfici" -> "Ripristina", senza dover ricorrere nuovamente al calcolo.

In riferimento ai passaggi appena descritti per l'impostazione del *plug-in* di verifica, si mostrano di seguito i risultati dell'analisi suddivisi per discipline e metodologie applicate per l'acquisizione delle nuvole di punti.

MODELLO STRUTTURALE

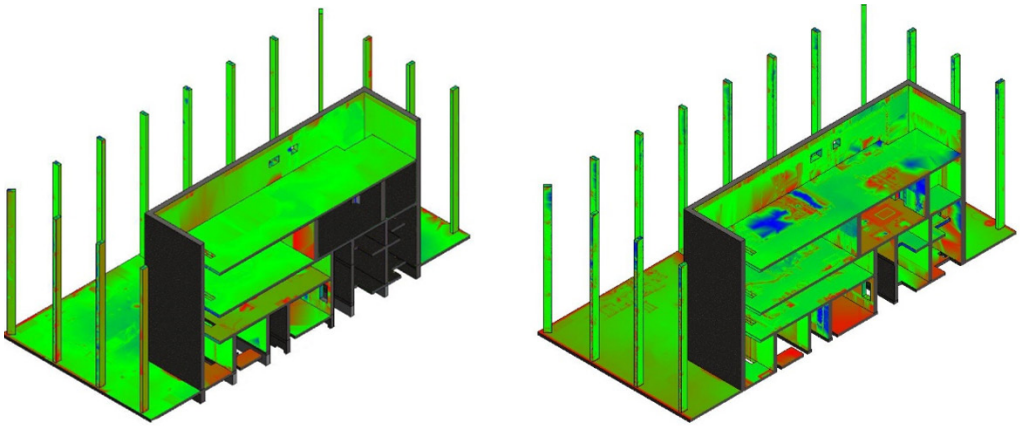


Fig.96 Analisi deviazione tra nuvola di punti LIDAR e ZEB e modello strutturale
Assonometria Nord

Come è possibile osservare l'analisi effettuata utilizzando la nuvola di punti Lidar risulta più precisa e accurata rispetto alla nuvola ZEB, la quale presenta diverse zone di imprecisione. La causa di queste inesattezze deriva dalla diversa modalità di gestione dei dati relativa alla suddivisione in regioni per discipline che, solo nel caso della nuvola Lidar, ha permesso di veicolare la visualizzazione escludendo le informazioni non inerenti alla disciplina analizzata.
Questo non è stato possibile nel caso della nuvola ZEB, non suddivisa in relazione alle discipline a causa della minor accuratezza del dato restituito.

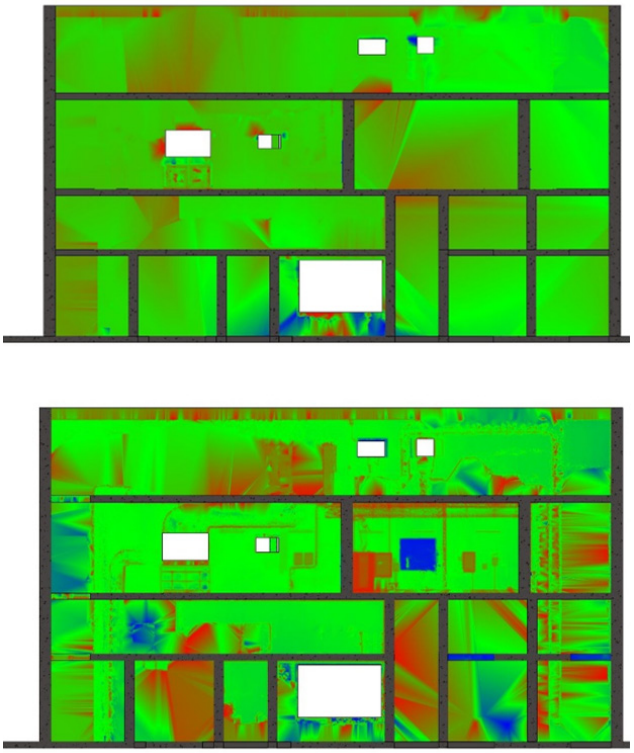


Fig.97 Analisi deviazione tra nuvola di punti LIDAR e ZEB e modello strutturale
Prospetto Est

Come nelle immagini precedenti, anche nelle figure sopra riportate, in riferimento alla suddivisione in regioni per discipline, si nota la presenza di elementi non inerenti all'analisi della disciplina analizzata. Infatti, è possibile distinguere in maniera più evidente le zone di imprecisione causate dai motivi sopra citati.

MODELLO ARCHITETTONICO

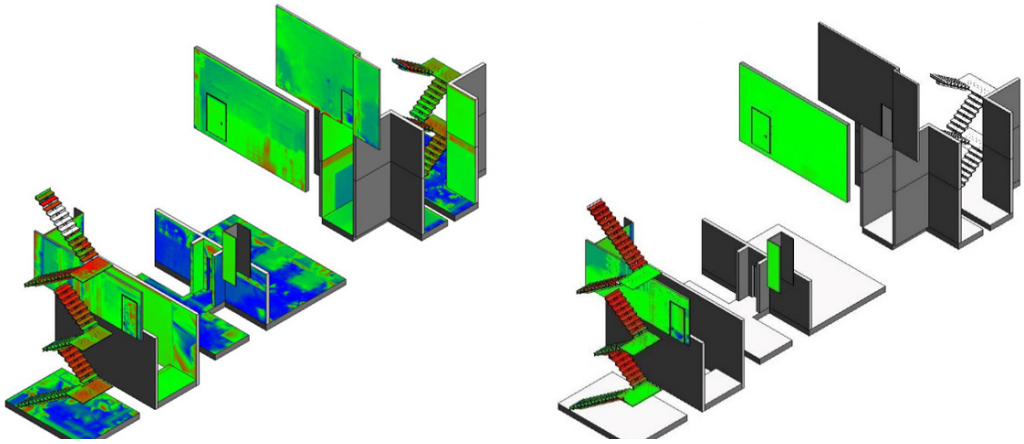


Fig.98 Analisi deviazione tra nuvola di punti LIDAR e ZEB e modello architettonico
Assonometria

Dalle figure sopra riportate è possibile notare la differente quantità di dati in riferimento alle due diverse metodologie di acquisizione. Gli elementi oggetto dell'analisi relativa ai dati Lidar sono inferiori rispetto alla rilevazione ZEB, a causa dell'accesso limitato dei locali a sud dell'edificio e dell'avanzamento dei lavori di costruzione

durante la fase di rilievo.
In entrambi i casi, risulta evidente la zona di distribuzione ai vari piani: nel caso delle scale per la colorazione rossa in riferimento al grado di sovrapposizione tra la nuvola e l'elemento modellato - la modellazione Revit limita la gestione e la modifica non rispecchiano perfettamente la realtà. Nel caso dei pianerottoli, invece, la colorazione verde del risultato dell'analisi indica che la sovrapposizione rientra nel range di tolleranza considerato accettabile. Il risultato complessivo del vano scala appare, dunque, poco vicino alla realtà perché, come spiegato in precedenza, non è stato modellato in base alle informazioni del rilievo eseguito.
L'analisi restituisce la deviazione dei punti tra nuvola e modello di tutti gli elementi relativi alla disciplina presa in considerazione, senza distinguere eventuali elementi di disturbo come appare evidente nel caso della pavimentazione esterna che al momento della rilevazione presentava superfici riflettenti a causa della presenza di acqua piovana.

3.1.1 Sovrapposizione dati *input* e *output*

L'esistenza di disegni CAD come riferimento durante la fase di modellazione, può risultare di grande aiuto in caso di incertezze e conflitti. Le informazioni *as designed* su livelli, griglie ed elementi invisibili dell'edificio, potrebbero essere molto utili per avviare il processo di modellazione. Inoltre, possono essere utilizzati per estrarre alcune specifiche degli oggetti, inerenti ad esempio al materiale, alla stratigrafia, alla posizione e il numero dei componenti MEP.

La necessità di un rilievo *as is* nasce sia perché nella maggior parte dei casi il progetto subisce modifiche durante la fase di costruzione, sia perché spesso la documentazione risulta incompleta se non inesistente. I documenti, infatti, raramente vengono aggiornati durante la fase di costruzione, quindi quando si parla di disegni *as designed* si parla della fase preliminare che non rappresenta lo stato as built dell'edificio.

Oggigiorno, nel campo della progettazione edilizia, la creazione di un modello di un edificio è diventata una necessità: durante la fase di costruzione, si ha un supporto digitale che si evolverà e cambierà divenendo sempre più preciso fino alla realizzazione dell'edificio stesso. In questo modo, nel caso in cui dovessero sorgere delle problematiche, più o meno complesse, la risoluzione si mostrerebbe più semplice e veloce rispetto il metodo tradizionale.
Lo scopo della modellazione di un edificio è la definizione di un aspetto particolare della realtà, attraverso un linguaggio preciso, affinché diventi di chiara comprensione ai fini del lavoro e di eventuali modifiche da apportare.

Con quanto discusso nei capitoli precedenti, è possibile affermare che la modellazione BIM non è adoperabile esclusivamente per la progettazione dal nuovo ma, anzi, essa trova vasto impiego anche nel settore dell'edilizia esistente. Le motivazioni che hanno spinto questa nuova tecnologia verso il mondo del costruito sono di svariato interesse, in base a gli obiettivi prefissati: restauro, analisi energetica, analisi strutturale e adeguamento sismico ne sono degli esempi. In questa tesi ci si è soffermati sulla futura gestione e manutenzione della Torre Regione Piemonte, per questo motivo l'accuratezza del modello risulta essere fondamentale.

Dopo un iniziale sopralluogo conoscitivo della porzione di edificio presa in esame il primo passo per la modellazione è stato scremare i file .dwg forniti dalla Direzione Lavori, scegliendo quelli più aggiornati e attendibili organizzandoli in un file Excel in modo da poter mantenere i dati sempre aggiornati.

In una fase successiva al rilievo eseguito attraverso le due metodologie descritte nei capitoli precedenti, è stato necessario eseguire un rilevamento manuale di alcune zone poiché, a causa della presenza di diverse attrezzature meccaniche, i dati restituiti non erano del tutto completi.
Il rilievo architettonico permette di restituire le peculiarità fondamentali di un elemento edilizio in una rappresentazione a due dimensioni.

Analizzando le piante .dwg alle quali sono state successivamente sovrapposte le piante ricavate dal rilievo diretto, è stato possibile notare che tra di essi non si aveva una completa coerenza.

Di seguito verranno riportate per ciascun piano le sovrapposizioni tra i disegni *as designed* e le piante ricavate dal rilievo laser scanner:

PIANO 43

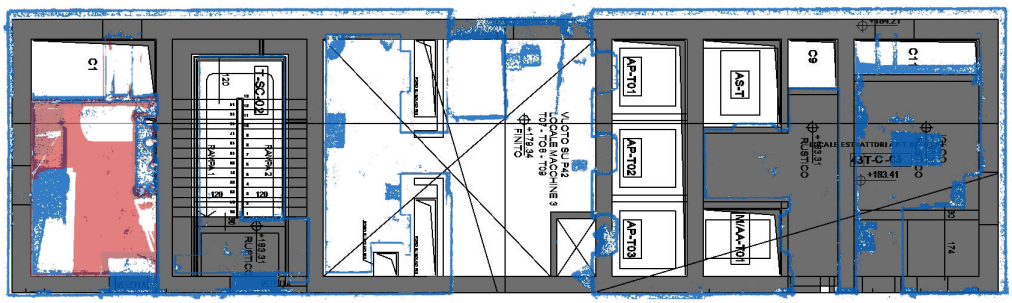


Fig.99 Sovrapposizione nuvola di punti LIDAR e ZEB con pianta as built

Nell'immagine riportata in alto è possibile distinguere attraverso colorazioni differenti le due nuvole di punti ottenute dal rilievo: in blu è evidenziata la pianta ricavata dalla nuvola di punti ZEB, mentre in rosso quella estratta dal rilievo Lidar.

Inoltre, come verrà spiegato successivamente, i locali oggetto dell'analisi relativa ai dati Lidar sono inferiori rispetto alla rilevazione ZEB, a causa dell'accesso limitato dei locali a sud dell'edificio.
Le principali discordanze che si possono osservare da questo confronto sono:

- Il differente spessore della muratura portante, la quale al momento del rilievo presentava elementi di finitura non riportati in pianta.
- Il posizionamento e il differente spessore di un muro divisorio posto nella parte centrale del piano
- La segnalazione di un cavedio non realizzato nella parte centrale del piano
- La presenza di tre aperture dedicate agli ascensori di servizio, e due riservate a quelli del personale, non segnati all'interno della pianta
- L'installazione di un corpo scala non disegnato nella locale più a sud

PIANO 44

Fig.100 Sovrapposizione nuvola di punti LIDAR e ZEB con pianta as built

Facendo riferimento al piano 44 è possibile notare diverse discrepanze. Molti elementi presenti nei dati di *output* risultano mancanti in quelli *input*. Nello specifico è possibile riscontrare che:

- Il corpo scala presenta una lunghezza inferiore rispetto al disegno originale
- Il locale che ospita le attrezzature meccaniche è diviso dal corpo scale da un muro
- Sono presenti più cavedi rispetto quelli disegnati nel progetto iniziale
- Le aperture sul lato ovest sono di dimensioni differenti
- Le UTA non sono perfettamente allineate tra loro, ma sono posizionate in maniera diversa
- L'installazione di un corpo scala e di un cavedio riservato agli impianti nel locale più a sud, non riportati nel documento iniziale

PIANO 45

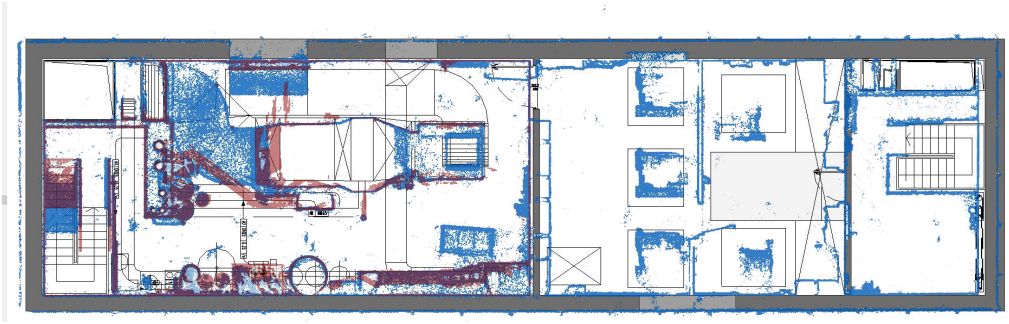


Fig.101 Sovrapposizione nuvola di punti LIDAR e ZEB con pianta as built

Generalmente i componenti MEP nella maggior parte dei casi sono nascosti nei controsoffitti, ed è impossibile eseguirne la scansione, perciò bisogna considerare i disegni di progetto. La problematica principale però è che i disegni *as designed* sono per lo più inaccurati, in quanto presentano una deviazione elevata in termini di posizione e dimensioni rispetto a quanto realizzato. In questo caso, trattandosi di locali destinati ad ospitare attrezzatura meccanica, gli impianti sono stati rilevati senza particolari difficoltà. L'integrazione con il rilievo effettuato tramite lo strumento MMS ZEB-REVO ha permesso di raggiungere un livello di precisione rispetto alla sola nuvola Lidar.

Le discrepanze che si possono evidenziare in questo caso sono le seguenti:
- Posizionamento differente dei setti portanti, che presentano inoltre spessore differente rispetto a quello effettivamente rilevato
- Collocazione di due setti portanti con funzione divisoria del piano, anziché i muri visibilmente più sottili presenti nella pianta originaria
- Presenza di una separazione irregolare tra i due locali tecnici rilevati tramite lo strumento MMS ZEB-REVO
- Differente forma e posizionamento dell'UTA centrale
- Differente tipologia e quantità di attrezzatura meccanica posta in adiacenza della parete ovest

PIANO 46

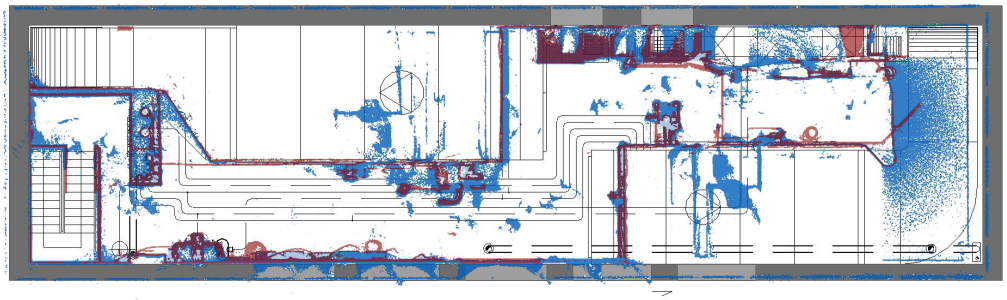


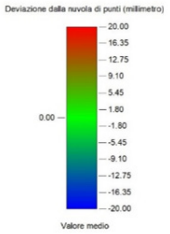
Fig.102 Sovrapposizione nuvola di punti LIDAR e ZEB con pianta as built

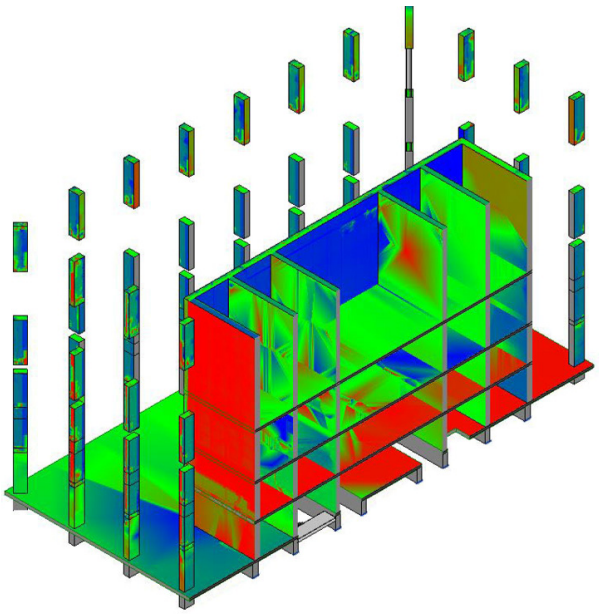
Nel piano in questione si sono appurate minori divergenze:
- Posizionamento del setto portante posto a sud leggermente più esterno rispetto al reale
- Dimensioni minori delle UTA nord e sud e conseguente collocazione errata delle due UTA situate in prossimità sella parete est

3.1.2 Analisi modello as built e nuvole di punti

Con il termine "as built" si definiscono i disegni bidimensionali che descrivono l'opera così come è stata realizzata, e concettualmente identifica le variazioni rispetto al progetto originario, così come gli elementi che sono rimasti invariati. Sovente capita che questi documenti vengano scambiati con il progetto esecutivo ma, in realtà, sono solamente una testimonianza grafica e vengono consegnati al cliente o al servizio di manutenzione e gestione in modo da costituire l'archivio del progetto.

La parte conclusiva della verifica si è concentrata sull'analisi del modello as built fornito per lo svolgimento della tesi in questione. Nel caso specifico preso in esame, il modello è stato realizzato sulla base dei documenti forniti in precedenza dalla Direzione Lavori della Torre Regione Piemonte. Tale documentazione è stata sviluppata per indicare il progetto costruttivo, ossia come il progettista intendeva costruire l'edificio. Naturalmente, l'intenzione e la costruzione effettiva dell'edificio sono due cose spesso differenti, infatti, c'è quasi sempre una disparità tra la documentazione as design e quella as built.





La figura ** mette in mostra, appunto, come gli elementi modellati risultano deficitari rispetto al reale andando incontro ad un problema di mancanza di dati. Per questo motivo, ai documenti di tipo as built sono stati integrati documenti *as is*, ovvero le nuvole di punti ottenute tramite rilievo laser scanner che rappresentano un modello tridimensionale dell'edificio in cui sono note le coordinate di ciascun punto acquisito.
A differenza del modello as built, il modello *as is* si pone come obiettivo la restituzione digitale di tutti i componenti dei piani alti della Torre, mirando all'ottenimento di un modello finale il più verosimile all'edificio esistente orientato al FM.

3.2 RISULTATI GENERALI: Processi, Metodi e Strumenti

Questa sezione è dedicata interamente alle considerazioni finali in merito all'efficienza del processo e della metodologia di lavoro seguita, dalle prime fasi di rilievo fino alla modellazione.
In questo contesto lo sguardo è rivolto ai principali vantaggi di metodo apportati dall'integrazione delle procedure SCANtoBIM in relazione alle "tecniche tradizionali".

In termini generali, i risultati che derivano da questa sperimentazione raggiungo livelli sufficienti per poter affermare che: l'approccio al patrimonio edilizio esistente integrato al rilievo digitale porti complessivamente a miglioramenti per ottimizzare la restituzione di un modello BIM il più possibile corretto e adeguato alla realtà.

In questo senso, però, le tecniche di restituzione automatizzata dell'oggetto – dalla nuvola di punti al modello 3D - non hanno ancora raggiunto il massimo della loro efficacia. Sebbene la promessa sia, infatti, quella di garantire un processo di modellazione completamente automatizzato, gli attuali strumenti disponibili permettono una modellazione che in realtà può essere meglio definita come semi-automatica.

I principali vantaggi rimangono ancora molto legati al fattore quantità, riferito alla grande capacità del rilievo di acquisire enormi quantità di dati notevolmente accurati e ai software di modellazione di riconoscere gli oggetti in modo automatico: l'oggetto è scelto in base al miglior adattamento reso possibile grazie alle librerie di oggetti BIM a disposizione.

Non esistono ancora tools in grado di integrare la modellazione BIM anche in termini di qualità: la procedura SCANtoBIM non è ancora calibrata in base al LOD desiderato. In altri termini, oggi, non è ancora possibile raggiungere il LOD voluto senza dover incorrere alla modellazione BIM di tipo tradizionale, in cui è l'operatore ad aggiungere informazioni all'oggetto riconosciuto in modo più o meno dettagliato.

A tal proposito si riassumono di seguito i risultati raggiunti in riferimento alle due fasi principali che caratterizzano l'intero processo metodologico.

3.2.1 Dal Rilievo

Al termine dell'intera procedura di raccolta dati, dai primi documenti 2D fino alla restituzione del rilievo indiretto, sono di seguito riportati i risultati e le considerazioni di carattere generale volte a far risaltare i vantaggi di una metodologia piuttosto che l'altra.
In particolare, si sottolinea come la tecnica laser scanner, applicata attraverso due strumenti diversi, possa apportare una grande quantità di dati aggiornati per rendere più affidabile il risultato ottenuto dalla successiva fase di modellazione.
Con il primo metodo - sperimentato con lo strumento FOCUS 3D di FARO CAM – si sono raggiunti ottimi risultati in tempi relativamente brevi.
Nel caso specifico ogni scansione ha richiesto circa 7 minuti, dunque, avendo effettuato un totale di 24 scansioni e considerando i tempi utili per cambio di posizione dello strumento, si sono raggiunte le 4/5 ore complessive per terminare la fase di acquisizione dei dati.
La nuvola di punti è stata restituita tramite un processo di elaborazione e gestione intelligente dei dati che ha inficiato notevolmente sulle tempistiche dell'intero lavoro. Ovviamente più sono i punti che costituiscono la nuvola maggiori sono i tempi di calcolo per la registrazione delle scansioni. Sicuramente, però, il risultato texturizzato e navigabile dell'oggetto ha fornito un alto grado di precisione e accuratezza, attraverso cui è stato utile ricavare informazioni metriche puntuali durante la generazione del modello 3D.

Con il secondo metodo - sperimentato con lo strumento ZEB-REVO RT di GeoSLAM – il risultato ottenuto si è rivelato particolarmente soddisfacente rispetto ai ridottissimi tempi di rilevazione.
L'acquisizione dei dati, effettuata in movimento, eseguita in tempi estremamente ridotti rispetto al metodo precedente, inoltre il passaggio di elaborazione dati, non influisce ulteriormente sull'allungamento del lavoro grazie alla nuova funzione real-time supportata dall'applicativo GeoSLAM Hub.
Il grande vantaggio di questa tecnica è, infatti, quello di ottenere un risultato ottimo dimezzando il tempo impiegato – raggiungendo un totale di 4 ore circa. Rispetto alla nuvola di punti, generata dai dati LIDAR, la qualità è sicuramente minore ma compensa con il raggiungimento di punti nascosti meno visibili, non raggiunti nel caso precedente.

L'integrazione finale delle due nuvole ha comportato un ulteriore aumento dei tempi di restituzione, ma si è rivelata particolarmente utile per le operazioni di modellazione eseguite successivamente.

3.2.2 Dalla modellazione

La fase di modellazione si identifica sicuramente come la parte più lunga dell'intero processo, nonostante l'integrazione delle tecniche SCANtoBIM. Rispetto alla fase di rilevo risulta particolarmente difficile quantificare il tempo impiegato per la generazione del modello BIM, ma in generale le operazioni che hanno influito riguardano:

- la gestione intelligente delle nuvole di punti tradotta nella fase di suddivisione in regioni in modo da migliorare le operazioni di modellazione per singola disciplina. Autodesk Recap limita notevolmente questo tipo di operazione: man mano che si suddividono le regioni i file si appesantiscono fino a rallentare esponenzialmente i tempi di lavoro

- le modalità di gestione delle nuvole di punti tramite link all'interno del software di modellazione Autodesk Revit per non incorrere a eventuali errori e rallentamenti durante la modellazione. Revit riesce a gestire modelli fino a 250 MB una volta inserite le nuvole di punti al suo interno iniziano problemi legati alla pesantezza del file fino a bloccarsi completamente

- l'organizzazione generale dell'ambiente di lavoro per migliorare la condivisione dei dati e permettere la modellazione simultanea di più operatori

- la scelta di modellare seguendo il metodo tradizionale piuttosto che quello SCANtoBIM una volta appreso che avrebbe aumentato notevolmente l'iter di restituzione degli oggetti

In riferimento a quest'ultimo punto, si mette in evidenza come il primo risultato ottenuto tramite l'uso del plug-in AS built non raggiunga il LOD desiderato – l'oggetto viene riconosciuto e associato in base alla miglior soluzione. Nel caso della modellazione MEP delle tubazioni si è rivelato notevolmente vantaggioso per gli elementi lineari – i tubi - mentre per gli elementi di connessione come – raccordi, valvole, ecc – è stato necessario integrare il processo di modellazione con la creazione di famiglie personalizzate.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Attualmente l'industria delle costruzioni sta puntando molto verso la gestione del patrimonio edilizio esistente, non solo storico ma anche di nuova costruzione soprattutto nell'ambito delle opere pubbliche. Come dimostra questa ricerca i nuovi processi e le tecnologie presenti sul mercato si prestano sempre più a sostenere e migliorare le operazioni per la creazione di un patrimonio informativo digitale della realtà. Il tema approfondito in questa tesi concretizza quest'esigenza nella definizione di una metodologia integrata tra il rilievo e la modellazione BIM. Nello specifico il metodo proposto mira al raggiungimento di un flusso di lavoro, non univoco e particolare, ma il più generale possibile in modo da poter essere applicato in contesti simili.

Il modello ottenuto permette di valutare in modo positivo i metodi e le procedure SCANtoBIM attualmente disponibili perché in grado di fornire ampie possibilità per il passaggio dalle nuvole di punti al modello. A questo si aggiunge, però, che i limiti e le problematiche riscontrate denunciano il fatto che queste applicazioni siano ancora agli esordi e che necessitino di ampie sperimentazioni per raggiungere un processo di totale automatizzazione.

La ricerca futura dovrebbe concentrarsi maggiormente sull'integrazione del riconoscimento di oggetti esistenti, tecniche di modellazione 3D insieme allo sviluppo di nuovi algoritmi per ottenere uno SCANtoBIM completamente automatico. In particolare, l'utilizzo del BIM integrato a queste procedure apporta vantaggi ampiamente riconosciuti per la restituzione di modelli BIM as built: in genere i documenti as built non fanno parte delle submission contrattuali, per cui gran parte delle modifiche apportate durante le fasi di costruzione non si riflettono totalmente nella documentazione ritenuta la più aggiornata. In questo senso qualsiasi progresso compiuto verso il processo automatizzato SCAN to BIM consentirà una sempre maggiore efficienza nell'integrazione del BIM con le operazioni di FM, in termini di significativo risparmio dei costi durante la fase di gestione e manutenzione dell'opera.

Ad un livello di sviluppo ancora maggiore il BIM costituisce il trampolino di lancio verso il mondo della gestione interattiva del modello basato su metodologie innovative di collaudo e controllo delle informazioni.

"*Il BIM assume un ruolo centrale nei processi di comunicazione della filiera AEC e, associato alle nuove tecnologie e forme di comunicazione, consente di arricchire la percezione sensoriale dell'ambiente costruito e di stabilire sia con gli utenti che con gli operatori del settore, un alto grado d'interazione. In fase di post-costruzione e gestione dell'opera, la Realtà Aumentata (AR) e Virtuale*

(VR) sono utilizzate per la visualizzazione dei dati, promuovendo soluzioni avanzate nell'ambito dei processi di manutenzione. La AR, permette di visualizzare geometrie tridimensionali e/o informazioni numeriche, tramite sovrapposizione dinamica dei dati virtuali al mondo reale. La VR permette l'immersione in un ambiente virtuale, generato mediante computer e software, che simula il mondo reale, attraverso l'isolamento di tutti o dei principali sensi umani. La prima tecnica prevede l'utilizzo di smartphone e tablet per la visualizzazione dei contenuti virtuali, la seconda tecnica consiste nell'utilizzo di visori come Google Cardboard (mediante smartphone) o Oculus Rift, che permettono l'immersione dell'utilizzatore nel mondo virtuale. Risulta evidente come le possibilità di utilizzo di queste tecnologie siano innumerevoli; per citarne alcune si può menzionare l'utilizzo degli smart devices e dei visori per la visualizzazione della documentazione di As-is/As-Built, schede di manutenzione di asset specifici, il posizionamento al piano dei principali quadri elettrici e generatori, la visione di insieme della rete tecnologica presente in un determinato ambiente comprensiva degli elementi MEP nascosti da controsoffitti e pavimenti flottanti, il montaggio di alcune componenti particolari dell'edificio, istruzioni operative per la formazione del personale, la visualizzazione di scenari alternativi di intervento. In questo modo le informazioni necessarie per gli interventi di manutenzione sono immediatamente disponibili, senza doverle ricercare, riducendo così gli errori ed ottimizzando i tempi; ossia costituendo un primo approccio per una gestione intelligente ed integrata." [49]

[49] La gestione dati FM.
A. Osello,F. M. Ugliotti, F. Semeraro, *Il BIM orientato al Facility Management. Nuove opportunità di gestione del patrimonio edilizio nell'era della transizione digitale*, SYSTEMA, 18/06/2016

Al fine di prevenire gli errori e facilitare ulteriormente le fasi di monitoraggio e mantenimento, l'idea è quella di creare dei veri e propri sistemi di revisione interattiva dei modelli coordinati attraverso l'uso della mixed reality (*Virtual Reality* e *Augmented Reality*). In questo conteso, l'obiettivo si dirige sempre più verso nuovi approcci in cui la connessione in real-time del modello virtuale con l'edificio costruito diviene centrale. Si arriva a generare visualizzazioni avanzate delle informazioni, necessarie per gli interventi di manutenzione, tramite la sovrapposizione sempre più dinamica dei dati virtuali al mondo reale.

BIBLIOGRAFIA

LIBRI

- A. Osello. Il Futuro del Disegnoo con il BIM per Ingegneri e Architetti. Torino: Dario Flaccovio Editore, 2012.
- A. Acquaviva, I. Bianco, M.Bocconcino, F. Burundi, G. Cangialosi, B. Chiaia, D. Dalmasso, S. Davardoust, M. Del Giudice, D. Erba, F. Ferrato, E. Macii, F. Manzone, A. Marcos Guinea, M. Lo Turco, A. Osello, E. Patti, P. Piumatti, A. Raimondo, N. Rapetti, A. Ronzino, P. Ruffino, M. Serini, C. Tamburino, F. Ugliotti, M. Zerbinatti. A cura di Anna Osello. Building Information Modeling, Geographic Information System, Augmented Reality per il Facility Management. Palermo: Dario Flaccovio Editore, 2015.
- Alberto Pavan, Claudio Mirarchi, Matteo Giani. BIM: METODI E STRUMENTI. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale. Milano: Tecniche nuove, 2017.
- Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston. Edizione italiana a cura di Giuseppe Martino Di Giuda e Valentina Villa. Il BIM. Guida completa al Building Information Modelling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese. Milano: HOEPLI, 2016.
- G. Gallo, C. Rizzarda. La sfida del BIM: Un percorso di adozione per progettisti e imprese. Milano: Tecniche nuove, 2017.
- Giuseppe M. Di Giuda, Sebastiano Maltese, Fulvio Re Cecconi, Valentina Villa. Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari. Linee guida, livelli di dettaglio informativo grafico (LOD) e alfanumerico (LOI). Caso applicativo: Linea guida RAI BIM. Flusso di lavoro e approccio metodologico. Milano: HOEPLI, 2017.
- M. Sgrenzaroli e G. Vassena, Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner. Volume 1 – Introduzione generale. Brescia: Starrylink Editrice, 2007
- Massimiliano Lo Turco, Il BIM e la rappresentazione infografica nel processo edilizio, Dieci anni di ricerche e applicazioni, ARACNE editrice, 2015

ARTICOLI

- A. Osello, F. Maria Ugliotti, F. Semeraro. Il BIM orientato al Facility Management. Nuove opportunità di gestione del patrimonio edilizio nell'era della transizione digitale. SYSTEMA.
- A. Osello, D. Dalmasso, M. Del Giudice, D. Erba, F. Maria Ugliotti, E. Patti, S. Davardoust. Interoperabilità e interdisciplinarietà dell'informazione: l'approccio BIM dal progetto SEEMPubs al progetto DIMMER.
- A. Osello, L. Barone, S. Davardoust, D. De Luca, M. Del Giudice, M. Dellosta, A. Fonsati, G. Lucibello, Rapetti, F. Semeraro, F. Maria Ugliotti. La centralità della rappresentazione con il BIM. Le Dimensioni del BIM, Vol.9. 2016
- Aitana Marcos Guinea e Systema, BIM come supporto alla progettazione integrata, 20/09/2016

- Becerik-Gerber B., Jazizadeh F., Li N., and Calis G., Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management, J. Constr. Eng. Manage., 138(3):431-442,2012
- C. Bianchini, C. Inglese, A. Ippolito. Il contributo della rappresentazione nel Building Information Modeling (BIM) per la gestione del costruito. Le Dimensioni del BIM, Vol.9. 2016.
- F. Bosché, MOhamed, Y. Turkan, CT Haase R. Haas (2015). The value of integrating Scan-to-BIM e Scan-vs-BIM tecniques for construction monitoring usin laser scanner and BIM: the case of cylindrical MEP components. Automation in Construction, Vol. 49(parte B):201-213.
- F. Remondino. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. Remote Sensing, 2011.
- F. Cumo, A. Sferra, G. Piras, F. Mancini, F. Barbanera, M. Tiberi, V. Sforzini, B. De Lieto Vollaro, E. Pennacchia, G. Spiridigliozzi, La metodologia BIM come strumento per una efficiente progettazione e gestione degli impianti degli edifici
- H. Son, C. Kim, and Y. Turkan. Scan-to-BIM – An Overview of the Current State of the Art and Look Ahead.
- H. Son and c. Kim 3D reconstruction of as-built industrial instrumentation models from laser-scan data and a 3D CAD database based on prior knowledge, Automation in Construction, Vol. 49, 193-200, 2015.
- I. Toschi, P. Rodriguez-Gonzàlvez, F. Remondino, S. Minto, S. Orlandini, A. Fuller. Accuracy Evaluation of a Mobile Mapping System with advanced statistical methods, in The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W4, 2015. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25-27 Feb. 2015, Avila, Spain.
- I. Toschi, F. Remondino, S. Orlandini, Mobile Mapping Systems: recenti sviluppi e caso applicativo.
- J. Charlton. BIM & Existing Building Magazine. 2018
- L. Bornaz. I sistemi a scansione laser. Research Gate, 2006.
- L. Klein, N. Li and B. Becerik-Gerber. Imagedbased verification of as-built documentation of operational buildings. Automation in Construction, Vol. 21: 161– 171, 2012.
- L. Rubino, ACDat (Ambiente di Condivisione Dati) e sicurezza dei dati personali, in in2it e Harpaceas, 27 aprile 2018
- R. Laing, M. Leon, L, Mahdjoubi, J. Scott. Integrated rapid 3D data collection techinques to support BIM design decision making. Elsevier. Porcedia Enviromental Science 22, 2014.
- R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings. Literature review and future needs. Automation in Construction, Vol. 38: 109–127, 2014.
- Shutao Li, J. Isele, G. Bretthauer. Proposed Metodology for Generation of Building Information Model with Laserscanning. Tsinghua Science and Technology, Vol. 13, 2008.

TESI

- Tesi di Laurea Magistrale: Sistemi di classificazione – Antonio Pollara

- Girelli A.V., Tecniche digitali per il rilievo, la modellazione tridimensionale e la rappresentazione nel campo dei beni culturali. Alma Mater Studiorum, Università di Bologna
- Tesi di Laurea Magistrale: Sviluppo di standard finalizzati al processo di modellazione e gestione dei dati attraverso la metodologia BIM - Alice Morabito

SITI WEB

- http://web.taed.unifi.it/lab_tec_e/laboratorio2011-2012/LEZIONE%202B_sistema%20tecnologico22.pdf
- https://geoslam.com/wp-content/uploads/2018/02/ZEB-REVO-RT-User-Guide-V1-0-3.pdf
- https://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-supporto-progettazione-integrata/#
- https://pdfs.semanticscholar.org/21d3/
- http://web.taed.unifi.it/lab_tec_e/laboratorio2011-2012/LEZIONE%202B_sistema%20tecnologico22.pdf
- https://geoslam.com/wp-content/uploads/2018/02/ZEB-REVO-RT-User-Guide-V1-0-3.pdf
- https://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-supporto-progettazione-integrata/#
- https://pdfs.semanticscholar.org/21d3/ec09bd0673d75af1ae0f2ae71d5a9ddbca3a.pdf
- biblus.acca.it/bim-nomenclatura-dei-dati-da-archiviare
- https://www.microgeo.it/public/userfiles/report_remondino.pdf
- https://www.faro.com/it-it/prodotti/costruzione-bim-cim/faro-scene/
- https://faro.app.box.com/s/5k3p55wcki3cktvhkh5ic3ubfuf5xi6z/file/488187050701
- www.abc.org/Membership/2012-CSI-Codes.
- http://wwwibimi.it/lezione-1-introduzione-al-bim
- https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ITA/Revit-Model/files/GUID-7959EB42-87DC-46D8-BC3D-07B97F92A78C-htm.html
- https://www.a-sapiens.it/bim/news/normativa-bim-uni-11337
- https://www.ediltecnico.it/63786/lod-lod-oppure-loi/
- https://www.xmeasures.com/helpDesk/readMe/whatAreAsBuilts.php
- https://www.ingenio-web.it/18667-sistema-dei-lod-italiano-uni-11337-4-2017
- https://www.str.it/magazine-edilizia/facility-management/facility-management-e-bim-facciamo-chiarezza
- http://www.in2it.it/forum/acdat-ambiente-di-condivisione-dati-e-sicurezza-dei-dati-personali
- https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ITA/Revit-Model/files/GUID-66FB7394-007F-47F4-9107-A2DAAB533C77-htm.html
- www.bsigroup.com/it-IT/Standard/Cosa-sono-gli-standard