

Politecnico di Torino



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica
A.a. 2025/2026
Sessione di Laurea Marzo 2026

Software INTEGRA in ambiente BIM per la manutenzione di impianti elettrici: Grattacielo Regione Piemonte

Relatori:

Prof. Paolo Di Leo
Prof. Matteo Del Giudice

Correlatori:

Ing. Valeria Cocina

Candidati:

Giacomo Andreoli
Matr. S329037

Abstract

La presente tesi si colloca nell'ambito della metodologia Building Information Modeling (BIM) e affronta il tema dell'interoperabilità tra software specialistici, con particolare riferimento all'integrazione del software INTEGRA, sviluppato da EXEL per la progettazione di impianti elettrici, all'interno dell'ambiente BIM tramite Autodesk Revit.

L'obiettivo principale di questo lavoro è quello di creare un metodo per unire due strumenti in modo che sia possibile gestire al meglio la manutenzione degli impianti elettrici all'interno di un edificio che appartiene al settore terziario. Questo metodo di integrazione deve aiutare a migliorare la gestione della manutenzione degli impianti elettrici in modo efficiente. Il lavoro si concentra sulla definizione di una metodologia che permetta di raggiungere questo obiettivo. La gestione della manutenzione degli impianti elettrici è un aspetto importante per garantire la sicurezza e l'efficienza di un edificio del settore terziario. Pertanto, l'integrazione dei due strumenti deve essere finalizzata a questo scopo.

La progettazione e la modellazione dell'impianto elettrico vengono create nell'ambiente INTEGRA. Il punto di partenza sono le cabine di Media Tensione, che sono interrate e servono il grattacielo della Regione. L'impianto elettrico viene poi distribuito ai vari piani, fino al sesto piano dell'edificio. Questo modello elettrico è fondamentale per le fasi successive di integrazione nell'ambiente BIM. Il modello fornisce le informazioni necessarie per proseguire con il progetto. La modellazione dell'impianto elettrico è un passo importante per la realizzazione del grattacielo della Regione. La distribuzione elettrica dei carichi ai piani è curata nei minimi dettagli, per garantire che tutto funzioni correttamente. Il modello elettrico è la base per ulteriori sviluppi e migliorie nell'ambiente BIM.

Successivamente, il lavoro analizza il processo di scambio e integrazione dei dati tra INTEGRA e Autodesk Revit, approfondendo le modalità di trasferimento delle informazioni tecniche e le principali criticità legate all'interoperabilità tra i due software. Su tali basi vengono sviluppate procedure operative per l'importazione, l'organizzazione e la gestione dei dati impiantistici all'interno del modello BIM.

Il modello BIM risultante viene infine implementato per supportare le attività di gestione e manutenzione dell'impianto elettrico, attraverso l'integrazione delle informazioni relative alle tipologie di intervento, alle frequenze manutentive e alle operazioni programmate. Il lavoro mette in evidenza come l'integrazione tra software di progettazione impiantistica e piattaforme BIM possa rappresentare uno strumento efficace per il supporto alla gestione del ciclo di vita dell'edificio, migliorando l'efficienza dei processi manutentivi e la qualità complessiva della gestione informativa.

Indice

Abstract	3
Indice	4
Elenco Figure	6
1. Introduzione	8
1.1. Contesto e motivazioni	8
1.2. Obiettivi della tesi.....	10
1.3. Struttura dell'elaborato.....	11
2. Tecnologie BIM e Digital Twin per la gestione degli impianti elettrici	13
2.1. Building Information Modeling (BIM): concetti fondamentali	13
2.2. Digital Twin e gestione manutentiva (O&M).....	16
2.3. Applicazione del BIM agli impianti elettrici	20
2.4. Criticità e sfide nell'interoperabilità BIM.....	21
2.5. Quadro normativo: ISO 19650 e UNI 11337	23
3. Il caso studio: Grattacielo della Regione Piemonte	25
3.1. Descrizione dell'edificio e degli impianti elettrici	26
3.2. Il modello BIM esistente in Autodesk Revit 2019	41
3.2.1. Contenuti informativi del modello	42
3.2.2. Livello di sviluppo (LOD) degli impianti	46
3.3. Il software INTEGRA per la gestione manutentiva.....	49
3.3.1. Funzionalità e caratteristiche.....	49
3.3.2. Esigenze informative per la manutenzione	52
3.4. Analisi delle criticità di interoperabilità	54
4. Metodologia di integrazione INTEGRA-BIM	57
4.1. Processo di integrazione: workflow operativo	58
4.2. Mappatura dei dati tra Revit e INTEGRA.....	60
4.3. Gestione dei formati di scambio dati (IFC, database)	63
4.4. Sviluppo delle procedure di sincronizzazione	65
4.5. Implementazione sul caso studio	68
5. Risultati e discussione	70
5.1. Risultati dell'integrazione realizzata	70
5.2. Vantaggi per la gestione manutentiva degli impianti elettrici.....	72
5.3. Confronto con approcci tradizionali.....	74
5.4. Criticità riscontrate e soluzioni adottate	75
5.5. Analisi dei limiti della soluzione proposta.....	77

6. Conclusioni e sviluppi futuri.....	80
6.1. Sintesi dei risultati ottenuti	80
6.2. Contributi della tesi	81
6.3. Proposte per sviluppi futuri	83
Bibliografia	85
Appendice A – Script Python per import CSV in Revit.....	87
Appendici B – Script Python per import CSV in Progetto Integra	93

Elenco Figure

Figura 1: Ciclo di vita con BIM [1].....	13
Figura 2: Le 7 Dimensioni [2].....	15
Figura 3: Digital Twin [3]	17
Figura 4: DT e Manutenzione [4]	19
Figura 5: LOD [5]	24
Figura 6: Grattacielo della Regione Piemonte [6]	26
Figura 7: Struttura delle cabine di trasformazione [7].....	28
Figura 8: QGMTC-01 [8]	29
Figura 9: QGMTC-02 [9]	29
Figura 10: QGMTD-00 [10]	30
Figura 11: QGMT-04 [11].....	32
Figura 12: QGMT-03 [12].....	33
Figura 13: QGMT-02 [13].....	33
Figura 14: QGMT-ANT [14]	34
Figura 15: QGMT-E [14]	35
Figura 16: QGBT-1 Sezione ordinaria [16].....	36
Figura 17: QGBT-1 Sezione privilegiata [17].....	36
Figura 18: QGBT.3 e UPS 3A/3B [18]	37
Figura 19: QGBT.4 e UPS.4 [19]	38
Figura 20: QGBT.2 [20]	38
Figura 21: As-built Grattacielo della Regione su Revit [21].....	41
Figura 22: Abachi su Revit 2019 [22]	44
Figura 23: BIM LOD [23]	48
Figura 24: Distribuzione ad anello in MT su software Progetto Integra [24].....	50
Figura 25: Vista dettagliata degli UPS 3A e 3B collegati al QGBT.3 [25]	50
Figura 26: QGMT-E, GE e Fornitura secondaria – Progetto Integra [26]	51
Figura 27: Diagramma di flusso [27]	60
Figura 28: Parametri estratti da Progetto Integra [28]	62
Figura 29: Schema a blocchi Dynamo [29]	63
Figura 30: IFC [30].....	64
Figura 31: Workflow operativo [31]	67
Figura 32: Studio proposto della tesi [32]	79

1. Introduzione

Negli ultimi anni, il settore delle costruzioni e della gestione degli edifici ha subito una trasformazione digitale molto importante.

Questa trasformazione non riguarda solo l'uso di nuovi programmi, ma anche un cambiamento fondamentale nel modo in cui vengono creati, condivisi e gestiti i dati durante tutta la vita di un progetto.

In questo contesto, il Building Information Modeling, o BIM, è diventato uno degli approcci più importanti.

Il BIM non è solo una tecnologia, ma un modo nuovo di lavorare insieme e di gestire le informazioni relative a un edificio.

1.1. Contesto e motivazioni

Il Building Information Modeling, o BIM, è considerato uno standard importante per la produzione, l'organizzazione e lo scambio di informazioni durante tutte le fasi di un progetto di costruzione.

Ciò significa che il BIM aiuta a gestire le informazioni relative a un edificio, dalla progettazione alla costruzione e alla manutenzione, in modo più efficiente e coordinato.

In Italia, il percorso verso l'uso della tecnologia nel settore degli appalti pubblici è stato sostenuto inizialmente dall'introduzione di metodi e strumenti digitali per la modellazione.

Successivamente, è stata definita una strategia per l'adozione progressiva del BIM.

Il Decreto Ministeriale 560 del 2017, noto come il "Decreto BIM", e il successivo Decreto Ministeriale 312 del 2021 hanno giocato un ruolo importante nel rendere più chiaro e strutturato il percorso di implementazione del BIM nella committenza pubblica.

Il Decreto Legislativo ha contribuito a definire meglio le regole per l'uso del BIM negli appalti pubblici.

Il BIM consente di avere una visione completa e dettagliata dei progetti, il che aiuta a ridurre errori e a migliorare la collaborazione tra le diverse parti coinvolte.

L'obiettivo finale è di migliorare la qualità e l'efficienza degli appalti pubblici, grazie all'uso di strumenti e metodi più avanzati.

Il Codice dei contratti pubblici, specificamente il numero 36 del 2023, include l'Allegato I.9, che stabilisce come la gestione informativa digitale sia fondamentale per controllare tutte le fasi di un progetto, dall'affidamento alla dismissione.

In questo scenario, c'è un problema operativo che emerge, ovvero, se il quadro generale punta verso la digitalizzazione e verso l'uso di un modello informativo come contenitore unico e coerente dei dati, la modalità in cui il BIM viene utilizzato nei processi quotidiani di gestione e manutenzione, in particolare per la componente impiantistica elettrica, risulta spesso diversa e non uniforme.

Le norme e gli atti regolatori forniscono una guida generale su come gestire le informazioni, assegnare i ruoli e definire i flussi di lavoro, oltre a stabilire i requisiti e l'ambiente per la condivisione dei dati.

Tuttavia, non spiegano nel dettaglio come applicare questi principi nella pratica quotidiana per la manutenzione degli impianti elettrici.

Inoltre, non indicano quali strumenti software o workflow specifici utilizzare durante le operazioni.

Questo significa che le procedure per la manutenzione degli impianti elettrici devono essere sviluppate e adattate alle esigenze specifiche di ciascun caso, senza una guida precisa e uniforme.

Sul piano della normativa tecnica, la serie **UNI 11337** costituisce il principale riferimento nazionale per il BIM. In particolare:

- la **UNI 11337-1** definisce il quadro generale e il lessico;
- la **UNI 11337-4** tratta l'evoluzione e lo sviluppo informativo dei modelli;
- la **UNI 11337-5 e 6** affrontano ruoli, flussi informativi e gestione dei dati.

Tuttavia, anche in questo caso, le norme non entrano nel dettaglio della modellazione degli impianti elettrici.

Non forniscono indicazioni su come strutturare le famiglie elettriche, non dicono quali informazioni tecniche associare agli oggetti, come ad esempio le potenze, le correnti, le protezioni, le logiche di circuito.

Non spiegano, inoltre, come integrare il modello informativo con i software di calcolo elettrico.

Il riferimento agli impianti elettrici è generico e viene considerato parte della più ampia categoria degli impianti tecnologici.

Questo significa che non si distinguono le diverse complessità disciplinari che caratterizzano gli impianti elettrici.

A livello internazionale, la serie **ISO 19650** rafforza ulteriormente questa impostazione.

Le norme ISO definiscono i principi di gestione dell'informazione, i ruoli, i requisiti informativi e i flussi di lavoro collaborativi, ma dichiaratamente non prescrivono contenuti tecnici disciplinari.

In altre parole, la ISO 19650 stabilisce come l'informazione deve essere gestita, ma non quale informazione debba essere prodotta per un impianto elettrico né come essa debba essere strutturata all'interno del modello.

I passaggi necessari per collegare il modello BIM, quindi, alla manutenzione degli impianti non sono ancora ben definiti.

Questo è particolarmente vero quando si vuole rendere l'attività accessibile anche a persone che non sono esperte di modellazione.

Il modello BIM è un documento digitale che contiene tutte le informazioni relative a un edificio o a un impianto.

Tuttavia, per poterlo utilizzare in modo efficace, è necessario creare un collegamento chiaro con la manutenzione ordinaria, incidentale e straordinaria degli impianti.

Il problema è che questo collegamento non è ancora stato ben stabilito, soprattutto per quanto riguarda la possibilità di renderlo accessibile a operatori non specialisti della modellazione. [18][19][20]

Il patrimonio digitale utilizzabile in esercizio deve essere chiaro e accessibile a tutti, indipendentemente dalle loro competenze in materia di modellazione.

Pertanto, è fondamentale trovare una soluzione per colmare questo vuoto e rendere l'attività di manutenzione più efficiente e accessibile.

La motivazione di questo lavoro deriva dalle considerazioni fatte finora.

L'obiettivo di questa tesi è sull'uso del software INTEGRA nell'ambiente BIM per aiutare nella manutenzione degli impianti elettrici.

Partendo dal fatto che, al momento, la progettazione elettrica e la gestione della manutenzione basata sui flussi BIM non sono molto sviluppate e non seguono uno standard dentro strumenti come INTEGRA, tuttavia, l'integrazione BIM offre una possibilità concreta per collegare i dati, la documentazione tecnica e le attività che si svolgono sul campo.

Questo potrebbe essere molto utile per migliorare il modo in cui gestiamo gli impianti elettrici. [22]

Il caso studio è stato sviluppato sulla Torre Regione, scelta perché esprime in modo emblematico l'esigenza di un metodo semplice ed efficace applicabile alla manutenzione, a fronte di un modello as-built già disponibile e realizzato in Autodesk Revit.

Si è posta l'attenzione sul passaggio decisivo dalla disponibilità del dato digitale alla sua effettiva usabilità operativa, costruendo un percorso che valorizzi l'esistente e renda la manutenzione più tracciabile, coerente e replicabile nel tempo.

1.2. Obiettivi della tesi

Alla luce delle criticità emerse nel quadro normativo e operativo della progettazione elettrica in ambiente BIM, l'obiettivo della presente tesi è stato quello di sviluppare un metodo applicativo in grado di colmare, almeno in parte, il divario esistente tra le richieste metodologiche del BIM e la concreta operatività della progettazione impiantistica elettrica.

Il lavoro di tesi ha come obiettivo principale definire un metodo per scambiare informazioni tra il software di progettazione elettrica INTEGRA e l'ambiente BIM di Revit 2019.

Questo ambiente contiene già il modello della Torre Regione, che include le principali apparecchiature, attrezzature e componenti degli impianti.

Il lavoro si concentra sulla creazione di una procedura per condividere dati tra questi due strumenti.

La presenza di un modello informativo già strutturato ha reso necessario individuare un approccio che non prevedesse una duplicazione del lavoro di modellazione, ma che fosse invece in grado di valorizzare l'informazione esistente, rendendola utilizzabile anche ai fini della progettazione elettrica.

Un altro obiettivo importante della tesi è stato quello di non utilizzare strumenti che richiedessero il pagamento di una licenza o che fossero di proprietà di aziende.

La scelta è ricaduta su soluzioni gratuite già disponibili negli ambienti di lavoro.

Il metodo sviluppato si basa sull'utilizzo di Dynamo, un ambiente di programmazione visiva che fa già parte di Revit 2019, e del linguaggio Python, che serve a gestire, elaborare e scambiare dati.

La scelta di questi strumenti risponde all'esigenza di creare una procedura che possa essere facilmente replicata e adottata anche in contesti professionali con poche risorse.

La comunicazione tra i due software si fa attraverso file in formato .csv.

Questi file sono stati scelti perché sono semplici, trasparenti e funzionano bene con entrambi gli ambienti.

In questo modo, possiamo esportare e importare dati facilmente.

Il flusso di informazioni permette di trasferire dati dal modello BIM al software di progettazione elettrica e viceversa.

Quindi, possiamo riportare nel modello tutte le elaborazioni e gli aggiornamenti fatti nel software INTEGRA.

In questo modo è stato possibile realizzare un collegamento semiautomatizzato e bidirezionale, in grado di ridurre gli errori di trascrizione manuale, migliorare la coerenza dei dati e favorire l'allineamento tra modello informativo e progettazione impiantistica.

L'obiettivo complessivo della tesi non è quindi quello di proporre una soluzione definitiva o normativamente standardizzata, bensì di sperimentare un metodo operativo che dimostri la fattibilità di un dialogo strutturato tra BIM e progettazione elettrica, evidenziandone potenzialità e limiti.

Attraverso il caso studio della Torre Regione, il lavoro intende fornire un contributo concreto alla riflessione sul ruolo degli strumenti digitali nella progettazione impiantistica, mostrando come, anche in assenza di indicazioni normative specifiche, sia possibile costruire percorsi metodologici coerenti con i principi del BIM e adattabili a contesti reali.

1.3. Struttura dell'elaborato

Il lavoro di tesi effettuato è diviso in sei parti principali.

La tesi inizia specificando la teoria e i regolamenti normativi che interessano l'argomento, e poi si concentra su come applicare questi concetti in modo pratico, più specificatamente sul Grattacielo della Regione Piemonte.

Questo percorso aiuta a comprendere meglio l'intero processo, dalle fondamenta alle applicazioni concrete.

Il **Capitolo 1** introduce il contesto generale della ricerca, illustrando le motivazioni che hanno portato allo sviluppo del lavoro di tesi e gli obiettivi prefissati.

In questa sezione viene, inoltre, delineata l'impostazione complessiva dell'elaborato, fornendo con precisione la struttura dei capitoli successivi.

Il **Capitolo 2** si concentra sull'inquadramento teorico e tecnologico.

Qui vengono spiegati i concetti base del Building Information Modeling e del Digital Twin, focalizzandosi sulla gestione della manutenzione degli impianti elettrici.

Il capitolo esamina anche come il BIM viene applicato agli impianti elettrici, quali sono i problemi principali quando si tratta di far funzionare insieme diversi sistemi, e quali sono le regole a cui bisogna attenersi, analizzando le norme ISO 19650 e UNI 11337.

Il **Capitolo 3** si concentra sul caso studio del Grattacielo della Regione Piemonte.

In questo capitolo, viene fornita una descrizione dettagliata dell'edificio e dei suoi impianti elettrici, mentre, successivamente, il modello BIM esistente, sviluppato utilizzando Autodesk Revit 2019, viene esaminato con attenzione ai suoi contenuti informativi e al livello di sviluppo.

Il capitolo continua con la presentazione del software INTEGRA, utilizzato per la gestione della manutenzione, e discute le principali difficoltà di interoperabilità riscontrate nell'interazione tra i due ambienti, il modello BIM e il software INTEGRA. Il Grattacielo della Regione Piemonte serve come esempio concreto per comprendere meglio come funziona il modello BIM e il software INTEGRA nella gestione degli edifici.

Il **Capitolo 4** spiega, in maniera dettagliata, come è stata sviluppata la metodologia di integrazione durante il lavoro di tesi.

Questo capitolo mostra esattamente come funziona il processo che è stato adottato, ovvero come sono stati messi in relazione i dati tra Revit e INTEGRA, come sono stati gestiti i diversi formati di dati e come sono state create le procedure per tenere tutto sincronizzato.

Infine, il capitolo mostra come questa metodologia sia stata applicata in concreto al caso studio che è stato analizzato.

Il **Capitolo 5** si concentra sulla presentazione e sulla discussione dei risultati che sono stati ottenuti.

Qui si esaminano i risultati dell'integrazione che è stata realizzata, i vantaggi che sono stati introdotti per la gestione della manutenzione degli impianti elettrici e il confronto con gli approcci che sono stati utilizzati in passato.

In questo capitolo, inoltre, vengono messi in evidenza i problemi che sono stati riscontrati e i limiti della soluzione che è stata proposta.

Il Capitolo 5 è quindi una sezione molto importante perché permette di capire come sono stati ottenuti i risultati e quali sono stati i punti di forza e di debolezza della soluzione adottata.

I risultati dell'integrazione realizzata sono il punto di partenza per comprendere i vantaggi introdotti per la gestione manutentiva degli impianti elettrici e per valutare la validità della soluzione proposta rispetto agli approcci tradizionali.

Infine, il **Capitolo 6** contiene le conclusioni del lavoro.

Questo capitolo sintetizza i principali risultati che sono stati ottenuti e i contributi che la tesi ha apportato.

Il capitolo si conclude con alcune considerazioni sugli sviluppi futuri e sulle possibili evoluzioni del metodo proposto.

Completano l'elaborato la bibliografia, che raccoglie le fonti normative, tecniche e scientifiche utilizzate.

2. Tecnologie BIM e Digital Twin per la gestione degli impianti elettrici

2.1. Building Information Modeling (BIM): concetti fondamentali

Il *Building Information Modeling* (BIM) rappresenta una metodologia di progettazione, costruzione e gestione delle opere costruite innovativa.

Più che una tecnologia o un software, il BIM è un processo integrato di gestione dell'informazione, che serve a far collaborare le varie figure all'interno di un progetto attraverso modelli digitali che includono tutte le caratteristiche di un edificio, dalla struttura a tutti gli impianti presenti, elettrici, come sarà approfondito in questa tesi, idraulici e tutti quelli che interessano alla progettazione impiantistica MEP (Mechanical, Electrical e Plumbing).[8]

In termini più pratici, il modello BIM serve a rappresentare digitalmente tutte le informazioni geometriche e strutturali di un edificio, e non solo, oltre agli impianti presenti, anche i materiali, costi, gestire i cronoprogrammi e i vari vincoli tra impianti o con la struttura dell'edificio.

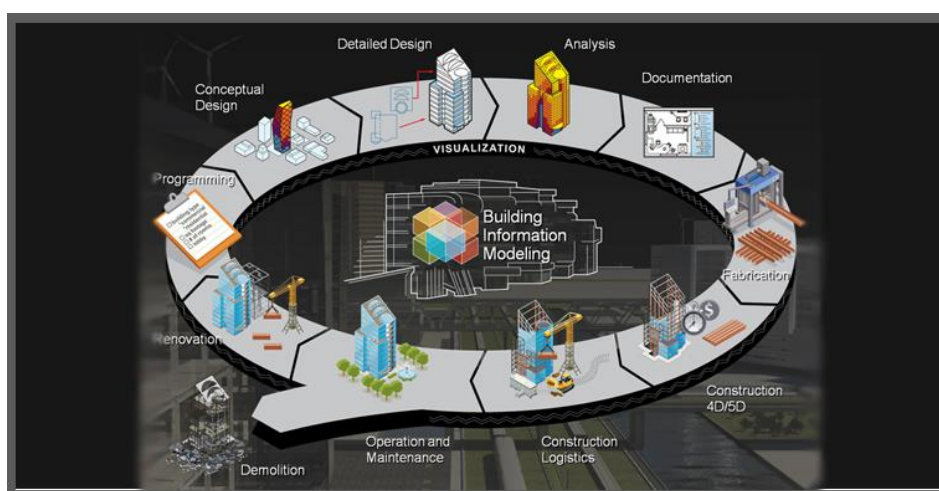


Figura 1: Ciclo di vita con BIM [1]

Questo consente di passare da un approccio più burocratico e quindi più documentale e lento, a un approccio digitale, più veloce, che permette di far comunicare i vari professionisti, nello stesso momento e condividere le informazioni in tempi brevi.

Ciò significa che il BIM influenza il modo in cui gli architetti, gli ingegneri e le imprese di costruzione collaborano e scambiano informazioni durante tutte le fasi di un progetto, dalla progettazione alla costruzione e alla gestione dell'opera finita.

Il BIM consente di creare modelli digitali dettagliati degli edifici e delle infrastrutture, che possono essere utilizzati per simulare e analizzare il comportamento dell'opera in diverse condizioni, migliorando così la qualità e l'efficienza del progetto.

Il BIM, inoltre, aiuta a ridurre gli errori e le incomprensioni che possono verificarsi durante la costruzione, migliorando la collaborazione tra le diverse parti coinvolte e aumentando la velocità della realizzazione di un'opera.

Il settore delle costruzioni sta avendo un profondo cambiamento che nei prossimi anni si vedrà, e questo cambiamento avverrà tramite, la tecnologia BIM.

Il Building Information Modeling è quindi un cambiamento importante che influenza il modo in cui vengono gestiti i dati e le informazioni relative a un'opera, e sta diventando sempre più fondamentale per le imprese di costruzione e per i professionisti del settore.

Il BIM è, quindi, semplicemente una modellazione tridimensionale, bensì un processo di gestione informativa che integra geometrie, attributi, documenti e relazioni tra elementi, consentendo una collaborazione strutturata tra le diverse figure interessate al progetto (progettisti, imprese, committenza, gestori) e una maggiore continuità informativa tra fasi di progettazione, costruzione e gestione. Per descrivere le informazioni di cui dispone un modello BIM sono state definite diverse “dimensioni”, ciò in accordo con la normativa italiana UNI 11337-6, che definisce gli aspetti legati al BIM:

- **BIM 3D:** è la dimensione più semplice e consiste nella rappresentazione geometrica e spaziale tridimensionale dell'oggetto fisico, garantendo una rappresentazione grafica realistica e attendibile.

Da questo modello sono poi estrapolabili elaborati grafici quali piante, prospetti e sezioni.

- **BIM 4D:** viene aggiunta al modello 3D la quarta dimensione, ovvero quella temporale, in modo da poter analizzare la durata di un progetto, visualizzare una programmazione del piano di costruzione, l'ordine di lavoro del subappaltatore e ottimizzare il processo di costruzione.

Permette quindi di avere all'interno del modello dei metodi che tradizionalmente affiancano la progettazione edilizia, quali i diagrammi di Gantt e Pert.

Si possono inserire programmi come Access, per la redazione di cronoprogrammi.

- **BIM 5D:** La quinta dimensione è quella economica, relativa ai costi del progetto, quindi alla creazione del computo metrico, facilitandone eventuali stime e valutazioni, sia in fase progettuale, sia in fase di uso e manutenzione.

- **BIM 6D e BIM 7D:** le ultime due dimensioni, che portano il livello della rappresentazione BIM al suo massimo, sono intercambiabili e conferiscono al modello lo studio della sostenibilità e dell'efficienza energetica, e la possibilità di gestione in fase di costruzione ed uso e manutenzione del progetto, nonché la creazione di un modello “as-built” che sia il più fedele possibile a quanto realizzato in fase di cantiere. [7]

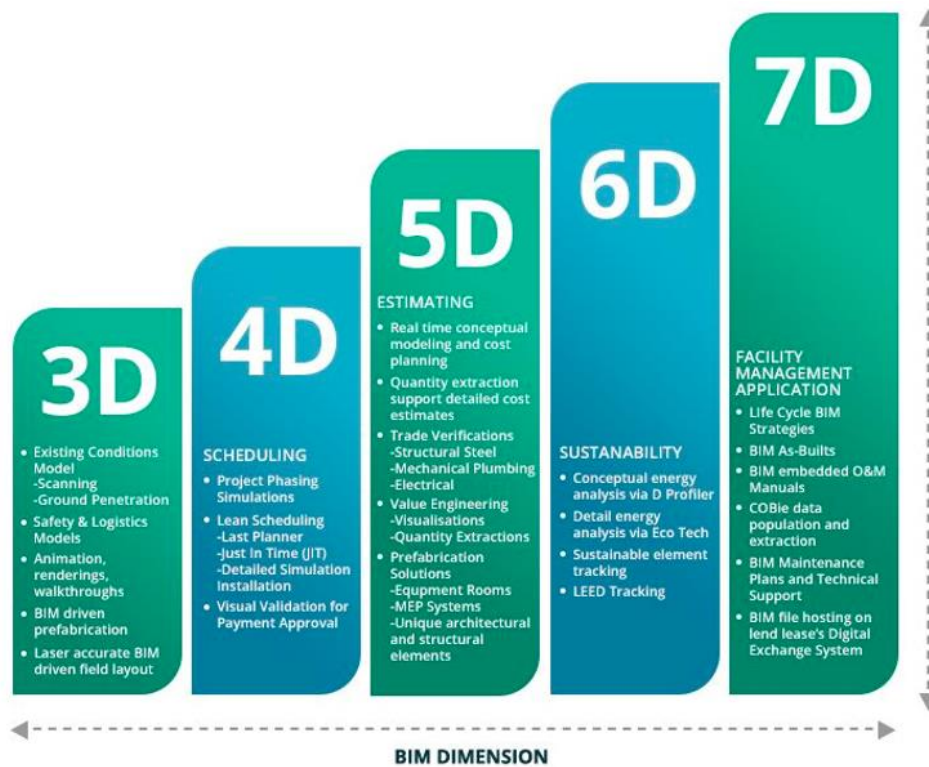


Figura 2: Le 7 Dimensioni [2]

La serie ISO 19650 rappresenta oggi uno degli assi portanti di questo approccio, in quanto formalizza principi e requisiti per l'organizzazione e la digitalizzazione delle informazioni in ottica BIM, promuovendo logiche di tracciabilità e governance dei dati in ambienti collaborativi (ad esempio tramite Common Data Environment).[6][7]

Tuttavia, le esigenze operative e gestionali cambiano costantemente, specialmente quando si tratta di esercizio, manutenzione e riqualificazione.

I requisiti per la progettazione di un'opera oggi giorno richiedono strumenti in grado di rappresentare non solo il progetto iniziale, ma anche tutto ciò che accade nel tempo, come detto prima serve formalizzare un adeguato cronoprogramma.

Ad esempio, le prestazioni energetiche reali, le condizioni di utilizzo, il degrado, le manutenzioni, gli adattamenti funzionali e gli eventi imprevisti.

E proprio per questo si introduce il concetto di Digital Twin che sta diventando sempre più importante.

2.2. Digital Twin e gestione manutentiva (O&M)

Il Digital Twin (gemello digitale) è uno strumento che consente di rappresentare in modo digitale l'intero ciclo di vita di un edificio o di un'infrastruttura, dalle fasi di progettazione e costruzione fino a quelle di esercizio e manutenzione.

Ciò consente di avere una visione completa e aggiornata dello stato dell'edificio o dell'infrastruttura, e di prendere decisioni informate per ottimizzare le prestazioni e ridurre i costi.

Esistono diverse definizioni, ma per la letteratura il Digital Twin è una rappresentazione digitale dinamica di un asset fisico, alimentata da dati (spesso in tempo reale o quasi) provenienti da sensori, sistemi di monitoraggio, registri manutentivi e piattaforme gestionali, con l'obiettivo di supportare analisi, simulazioni, previsione di scenari e decision-making.

Le ultime revisioni della definizione appena fornita sottolineano come il DT, nel built environment, venga associato a capacità quali predictive maintenance, ottimizzazione delle prestazioni lungo il ciclo di vita, gestione del rischio, e supporto alla sostenibilità e alla resilienza dell'opera.

Gli elementi chiave del Digital Twin, per distinguerlo da altre forme di modellazione digitale sono:

- Connessione in tempo reale
- Doppio flusso informativo, ovvero oltre a ricevere dati, può anche restituire informazioni
- Capacità analitiche e predittive
- Ciclo di vita completo, il DT raggiunge il massimo valore nella fase di Operation & Maintenance, dove i dati operativi sono maggiormente disponibili e rilevanti.

Il Digital Twin richiede una infrastruttura più complessa, capace di integrare BIM, sistemi IoT, algoritmi di analisi e software interoperabili, nella seguente tesi si svilupperà l'interoperabilità tra Revit e Progetto Integra.

Mentre il BIM può esistere come modello statico condiviso tra i vari professionisti, il Digital Twin è per definizione una entità digitale vivente, che connette il mondo fisico al mondo digitale in modo continuo[2][3]

All'interno di questo panorama, la relazione tra BIM e Digital Twin è diventata uno dei punti più discussi.

Il BIM è la base strutturata, che comprende il progetto e la costruzione di un edificio, su cui può essere creata una copia digitale.

Il Digital Twin aggiunge una dimensione importante: collega il modello al mondo reale attraverso dati continui, analisi e decisioni.

In questo modo, il Digital Twin permette di monitorare e gestire l'edificio in modo più efficiente e preciso.

Il BIM e il Digital Twin sono due strumenti che lavorano insieme per migliorare la progettazione, la costruzione e la gestione degli edifici.

Il BIM fornisce la base, mentre il Digital Twin aggiunge la capacità di analizzare e gestire l'edificio nel tempo.

Diversi autori evidenziano che non ogni modello BIM costituisce un Digital Twin: il passaggio richiede non soltanto un arricchimento informativo, ma l'implementazione

di architetture per i dati, integrazione con sistemi esterni (IoT, BMS, CMMS, GIS), e un disegno dei processi che consenta l'aggiornamento e l'uso del modello come piattaforma "viva" per la gestione.[1][5]

Un aspetto molto importante riguarda la fase di gestione e manutenzione di un edificio, che è spesso la più lunga e costosa di tutte.

Gli studi dimostrano che combinare il Building Information Modeling (BIM) con i dati digitali (DT) durante la gestione e la manutenzione può essere molto utile, ma anche molto complicato.

È utile perché consente di collegare le informazioni sulla manutenzione e le prestazioni a un sistema di dati coerente.

Tuttavia, è anche complicato perché richiede che i diversi sistemi informatici possano lavorare insieme, che i dati siano precisi e aggiornati, e che le informazioni fluiscano in modo continuo.

Inoltre, è fondamentale definire chiaramente cosa serve per raggiungere gli obiettivi di gestione.

Negli ultimi anni si sono notati notevoli cambiamenti su questo aspetto che indicano che proprio l'O&M rappresenta un'area in cui la ricerca sta crescendo rapidamente, ma dove permangono ancora dei divari.[4]

Le nuove ricerche mettono in luce alcune difficoltà importanti, tra le quali le difficoltà di integrazione tra formati e piattaforme.

I costi iniziali sono alti e le competenze necessarie non sono diffuse in modo uniforme.

Negli ultimi anni, con l'avanzamento tecnologico e dell'intelligenza artificiale, la sicurezza e la proprietà dei dati sono cruciali, è importante, quindi, poter contare su modelli predittivi affidabili.

È necessario, inoltre, standardizzare i processi e le architetture digitali per poter adottare queste soluzioni in modo sostenibile e su larga scala. La standardizzazione è fondamentale per superare queste difficoltà e consentire un uso più ampio ed efficace di queste tecnologie.

In parallelo, alcuni contributi propongono di interpretare il Digital Twin non come un singolo "oggetto tecnologico", ma come una piattaforma sistemica che integra dati, processi e stakeholder, abilitando decisioni complesse e generando valore lungo l'intero ciclo di vita del costruito.[4]

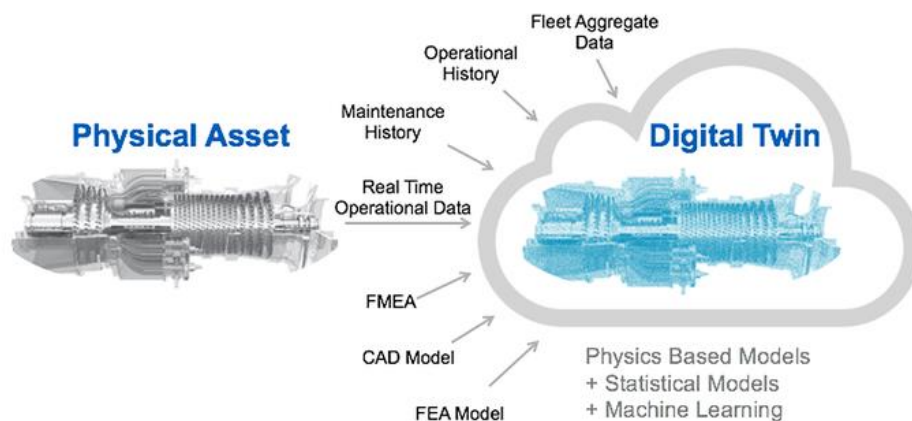


Figura 3: Digital Twin [3]

Entrando nello specifico della gestione e della manutenzione (*operation & maintenance*, O&M) questo costituisce, per durata e impatto economico, una componente dominante del ciclo di vita di una costruzione.

Proprio per questo, l'innovazione digitale del BIM e del DT non finisce nella progettazione o nel cantiere, ma gioca in modo decisivo anche nella capacità di rendere governabili le informazioni durante l'uso dell'asset: inventario tecnico, piani manutentivi, storico degli interventi, condizioni d'uso, performance e degrado nel tempo.

In questo senso, l'integrazione tra BIM e Digital Twin (DT) viene spesso letta come un'evoluzione che consente di passare da un modello ricco di dati ma tendenzialmente "statico" (BIM) ad un sistema informativo "vivo", alimentato da dati operativi e orientato alla decisione (DT).[9][10]

Nella manutenzione, il BIM può essere interpretato come una base informativa strutturata che rende possibile:

- l'identificazione univoca di componenti e sistemi (asset register);
- l'associazione di attributi tecnici e documenti (schede, manuali, certificazioni);
- la gestione coerente delle varianti (*as-designed, as-built, as-maintained*);
- la tracciabilità delle responsabilità e delle revisioni informative.

Un elemento cruciale, spesso sottovalutato, è che il BIM "funziona" in O&M solo se è sostenuto da un impianto di gestione dell'informazione preciso, supportato da documentazione precisa sull'informazione degli asset.

Per rendere il BIM, quindi, spendibile in manutenzione c'è bisogno di standardizzare il contenuto informativo e la sua interoperabilità tra sistemi.[14][15]

In questo contesto, COBie (Construction-Operations Building information exchange) viene utilizzato come struttura dati per trasferire verso la gestione operativa informazioni quali: anagrafiche componenti, schede tecniche, garanzie, serial number, collocazione, piani manutentivi e contatti.

Studi applicativi e review mostrano che l'adozione di COBie può facilitare l'allineamento tra modello BIM e sistemi FM/CMMS, soprattutto quando l'obiettivo è creare un "ponte" tra consegna dell'opera e avvio della gestione.[11]

Se il BIM abilita una manutenzione "informata" (basata su inventario, manuali e piani), il Digital Twin abilita una manutenzione dinamica e adattiva, perché integra nel modello dati provenienti dall'esercizio (sensori, BMS, IoT, log impiantistici, ticket CMMS) e li usa per:

- **rilevare condizioni anomale** (monitoraggio intelligente);
- **stimare degrado o rischio di guasto** (analisi e diagnostica);
- **ottimizzare decisioni e priorità** (pianificazione e allocazione risorse).

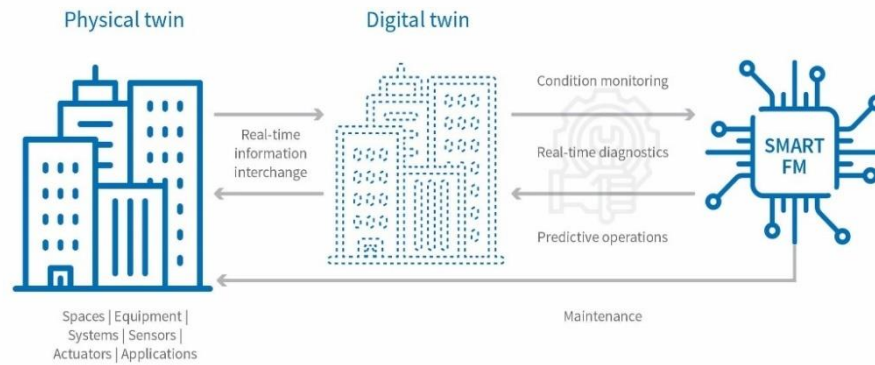


Figura 4: DT e Manutenzione [4]

Negli ultimi aggiornamenti collocano queste applicazioni all'interno di un insieme chiamato *Maintenance 4.0*, in cui l'obiettivo è passare da approcci reattivi o calendarizzati a strategie condition-based e predictive, supportate da dati e modelli analitici/AI.

Per dare chiarezza sul tema manutenzione, può essere utile distinguerle in:

- **Incidentale:** si interviene a guasto avvenuto.
- **Preventiva:** si interviene a intervalli calendarizzati.
- **Condition-based (CBM):** si interviene quando indicatori (vibrazioni, temperatura, consumi, ore reali, allarmi) mostrano un peggioramento.
- **Predittiva (PdM):** si interviene prevedendo il guasto o il decadimento futuro tramite modelli (statistici, fisici o ML).

Il DT applicato agli edifici mostra che aiuta notevolmente le seguenti tipologie di manutenzione, ovvero, CBM e PdM, perché il gemello digitale consente di trasformare segnali "sparsi" (sensoristica, BMS, report manutentivi) in una rappresentazione coerente e interrogabile, collegata alla struttura dell'asset.[14][15]

2.3. Applicazione del BIM agli impianti elettrici

Nel contesto della digitalizzazione dei processi di progettazione e costruzione, l'applicazione del *Building Information Modeling (BIM)* all'ingegneria elettrica rappresenta uno sviluppo significativo per la gestione dei sistemi impiantistici all'interno degli edifici.

L'impiego del BIM nella progettazione elettrica non si limita alla semplice modellazione tridimensionale degli elementi, come canalizzazioni, quadri, cavi e componenti elettrici, stile interruttori, plafoniere... ma introduce uno sviluppo sui processi di lavoro che favorisce collaborazione, accuratezza e controllo dei dati lungo tutto il ciclo di vita dell'opera.

L'applicazione del BIM nella progettazione degli impianti elettrici consente di superare molte delle limitazioni tipiche dei metodi tradizionali basati su disegni CAD bidimensionali.

Attraverso la modellazione informativa, gli ingegneri elettrici possono generare layout 3D che integrano non solo la geometria ma anche attributi tecnici e relazionali, rendendo possibile:

- **Coordinamento multidisciplinare con altre discipline MEP** (meccaniche e idrauliche), con riduzione delle interferenze e delle collisioni tra impianti.
- **Verifica sui conflitti geometrici** tra condotti elettrici e altri sistemi.
- **Ottimizzazione dei percorsi impiantistici**, come cablaggio elettrico o passaggio delle tubazioni idrauliche, migliorando efficienza e sicurezza progettuale.
- **Visualizzazione avanzata del sistema elettrico**, che permette una comprensione immediata delle soluzioni scelte e facilita la comunicazione tra progettisti e committenti.

Nonostante i vantaggi, l'adozione del BIM negli impianti elettrici presenta alcune criticità.

Secondo alcuni articoli scientifici, le principali barriere riguardano:

- **Dipendenza da competenze specialistiche:** l'uso avanzato degli strumenti BIM dedicati alla progettazione elettrica richiede esperienza significativa da parte degli ingegneri, poiché il livello di dettaglio e la precisione necessari richiedono competenze specifiche per garantire risultati affidabili.
- **Necessità di modelli BIM ad alta precisione:** lo sviluppo di modelli informativi completi e accurati è fondamentale per sfruttare appieno le potenzialità del BIM, ma rappresenta un impegno in termini di tempo e risorse, soprattutto nei progetti complessi.
- **Assenza di metodi automatizzati di ottimizzazione:** molte piattaforme BIM dedicate alla progettazione elettrica non integrano ancora strumenti per la progettazione elettrica, lasciando a interventi manuali alcune fasi critiche del processo di progettazione.

Oltre alla fase di progettazione, la modellazione BIM dedicata agli impianti elettrici è molto importante soprattutto nelle fasi successive del progetto, ovvero, collaudo, manutenzione e gestione operativa, come detto precedentemente.

Quando ben strutturato, il modello BIM elettrico può alimentare sistemi di Facility Management, consentendo di accedere rapidamente:

- alle specifiche tecniche dei componenti elettrici;
- alle caratteristiche di funzionamento e di sicurezza;
- alla cronologia degli interventi e alle esigenze manutentive.

Questo approccio consente di migliorare non solo la fase di progettazione ma anche l'efficacia della gestione operativa dell'impianto elettrico per tutto il ciclo di vita dell'edificio. [16][17]

2.4. Criticità e sfide nell'interoperabilità BIM

L'interoperabilità è fondamentale nei processi BIM.

Questo significa che diversi software possono scambiare informazioni, leggerle e aggiornarle durante tutto il ciclo di vita di un progetto.

L'interoperabilità è una grande sfida, sia dal punto di vista tecnico che organizzativo, per utilizzare al meglio il metodo BIM.

In pratica, l'interoperabilità significa che diversi strumenti software possono lavorare insieme, utilizzando gli stessi dati senza perdere informazioni.

Ciò significa che i dati possono essere letti, scritti e utilizzati da diversi software, indipendentemente da chi li fornisce o dall'ambiente in cui vengono utilizzati.

Una delle cause principali delle difficoltà che incontriamo nel settore delle costruzioni è la grande varietà dei formati dati e delle architetture software che vengono utilizzate.

Molti strumenti di Building Information Modeling, o BIM, utilizzano formati di dati proprietari per descrivere gli elementi, i parametri e le relazioni all'interno di un progetto, il che rende difficile trasferire queste informazioni in modo coerente e senza problemi tra piattaforme diverse.

Il formato Industry Foundation Classes, o IFC, è uno standard aperto sviluppato da buildingSMART e riconosciuto a livello internazionale come norma ISO 16739.

Lo scopo di questo formato è proprio quello di ridurre i problemi causati dalla varietà dei formati dati e di favorire la condivisione e l'interoperabilità dei dati tra diverse piattaforme.

Tuttavia, nella pratica, l'applicazione di questo formato presenta ancora alcuni limiti che ne ostacolano l'efficacia.

Uno dei problemi tecnici più grandi è quando si perdono o si rovinano i dati mentre li si sta esportando o importando.

Anche se si utilizzano formati aperti come IFC, non tutti i programmi li interpretano o li supportano completamente e nello stesso modo.

Questo significa che i dati e le informazioni del modello potrebbero non essere sempre coerenti o completi, il che porta a errori, omissioni o interpretazioni diverse del modello stesso.

Questo è particolarmente importante per campi come gli impianti MEP, che comprendono meccanica, elettricità e idraulica.

In questi casi, i dati non si limitano solo alla forma e alla struttura, ma includono anche informazioni sulla funzione, sulle prestazioni e su come tutto funziona insieme. [23][24]

Se questi dettagli non vengono gestiti e trasferiti correttamente, possono sorgere problemi.

Un altro problema è la compatibilità tra i software che utilizzano formati aperti.

Anche se diversi programmi dicono di supportare formati come IFC o altri standard aperti, come ad esempio BCF o COBie, spesso si trovano differenze nell'interpretazione di questi standard.

Ciò causa problemi di coerenza nel modello che viene condiviso o la perdita di informazioni importanti per alcuni flussi di lavoro specifici.

Le sfide che si incontrano non sono soltanto legate alla tecnologia, ma anche all'organizzazione.

Per avere un'interoperabilità efficace, è necessario avere una struttura delle informazioni molto chiara, con regole precise per la denominazione, la gestione delle versioni e il coordinamento tra le diverse figure professionali che lavorano al progetto.

Se non ci sono procedure standardizzate e persone con competenze specifiche all'interno delle organizzazioni, le soluzioni tecnologiche disponibili possono essere meno efficaci, e questo può ostacolare la piena utilizzazione delle potenzialità del BIM.

Le sfide organizzative e culturali sono quindi fondamentali per ottenere i migliori risultati possibili con il BIM.[25]

Le criticità che si incontrano hanno un impatto diretto sui progetti BIM, ad esempio, quando si cerca di scambiare dati, bisogna spesso intervenire manualmente per correggere gli errori, verificare i dati e riconciliare le informazioni, il che riduce i vantaggi in termini di produttività.

Questo aumento dei tempi e dei costi può anche portare a errori.

Per risolvere questi problemi, bisogna trovare soluzioni tecnologiche e procedurali che migliorino la capacità di lavorare insieme in modo efficace, ad esempio, si possono adottare standard aperti, utilizzare flussi di lavoro Open BIM e strumenti di conversione automatica.

Tutto questo è fondamentale per far crescere e maturare i processi BIM in modo maturo.

In conclusione, le sfide dell'interoperabilità BIM hanno mille sfumature e richiedono risposte articolate: da un lato, lo sviluppo e l'adozione di standard aperti e condivisi. Dall'altro, un rafforzamento delle competenze e delle pratiche organizzative che consentano di massimizzare la qualità e la continuità informativa lungo tutto il ciclo di vita delle costruzioni. [14][18][26]

2.5. Quadro normativo: ISO 19650 e UNI 11337

Una delle standardizzazioni delle quali parlavamo prima è proprio quella normativa che rappresenta un elemento cruciale per l'adozione e la diffusione del *Building Information Modeling* (BIM), garantendo non solo uniformità terminologica e procedurale, ma anche interoperabilità, qualità informativa e coerenza operativa tra i soggetti coinvolti.

A livello sovranazionale, la serie UNI EN ISO 19650 è la normativa presa come riferimento per l'organizzazione e la digitalizzazione delle informazioni associate alle costruzioni e alle opere di ingegneria civile.

Questi standard sono stati recepiti anche dall'Italia nella forma "UNI EN ISO" e definiscono una procedura standardizzata internazionale per la gestione delle informazioni nel BIM.

Nello specifico:

- La ISO 19650-1 introduce i principi generali per la gestione delle informazioni, facendo attenzione sulla necessità di identificare requisiti informativi, ruoli e processi di produzione e condivisione.
- Le parti successive (ISO 19650-2/-3/-4/-5) affrontano aspetti legati alla gestione operativa dei dati, allo scambio di informazioni e alla sicurezza nell'informazione digitale.

L'adozione di questi standard consente di creare un linguaggio condiviso per i processi BIM, garantendo uniformità nei flussi informativi, nei modelli di dati e nei criteri di verifica e approvazione delle informazioni digitali nei progetti internazionali. In Italia, la tecnologia BIM se ne parla principalmente attraverso la serie di norme UNI 11337, che specifica la gestione digitale dei processi informativi nelle costruzioni. Questa normativa tecnica regola aspetti chiave quali:

- la strutturazione dei modelli e degli oggetti informativi;
- i flussi informativi e decisionali;
- la codifica dei prodotti, delle attività e delle risorse;
- le competenze professionali richieste (BIM Manager, BIM Specialist, Coordinatori, ecc.).

Attraverso le parti della UNI 11337, l'Italia ha recepito e implementato i principi internazionali dell'ISO 19650 adattandoli al contesto nazionale.

Sono stati introdotti concetti quali i Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali (LOD/LOG), e definendo stati di lavorazione e approvazione dell'informazione modellata.

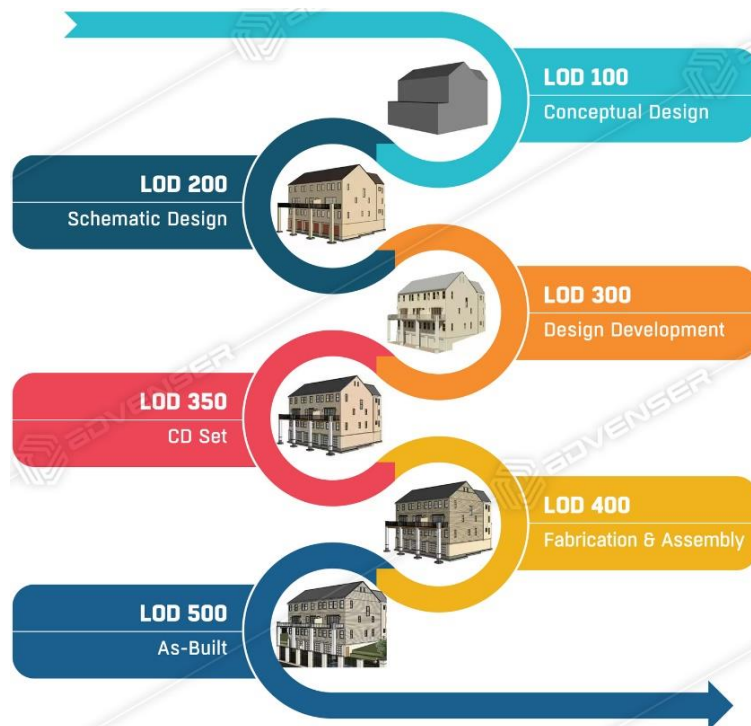


Figura 5: LOD [5]

Parallelamente alla normativa tecnica, l'adozione del BIM in Italia è stata progressivamente inserita nel quadro legislativo degli appalti pubblici. Il Decreto Ministeriale 560/2017, noto come "Decreto BIM", ha introdotto l'obbligo dell'utilizzo del BIM nelle opere pubbliche in funzione del valore dell'appalto, con l'obiettivo di estenderlo gradualmente a soglie sempre più basse, per ora è stato fino al 2025.

Nel Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 36/2023), integrato successivamente, il BIM è reso obbligatorio per i contratti pubblici di progettazione e realizzazione sopra determinate soglie economiche, ad esempio per lavori di nuova costruzione e riqualificazione con valore superiore ai 2 milioni di euro a partire dal 1° gennaio 2025. Questo ha segnato passo significativo verso la digitalizzazione sistematica del settore delle costruzioni.[18][19][20][21]

3. Il caso studio: Grattacielo della Regione Piemonte

Per questo lavoro di tesi è stato scelto il Grattacielo della Regione Piemonte.

Quest'ultimo è un edificio molto complesso, con molti impianti tecnologici e un modello informativo già esistente in ambiente BIM.

Questo è particolarmente importante per analizzare come funziona l'interoperabilità tra sistemi.

L'edificio è un esempio concreto e complesso che mostra sia i vantaggi che i problemi quando si uniscono la progettazione elettrica e la gestione informativa digitale, specialmente dopo che l'opera è stata completata.

Questo è un contesto reale dove si possono vedere le potenzialità e le difficoltà di questo tipo di integrazione. L'edificio è quindi un caso studio interessante per capire come la progettazione elettrica e la gestione informativa digitale possano lavorare insieme in modo efficace, anche dopo che il progetto è stato realizzato.

3.1. Descrizione dell'edificio e degli impianti elettrici



Figura 6: Grattaciolo della Regione Piemonte [6]

L'edificio in questione è una struttura che richiede un sistema elettrico efficiente per funzionare correttamente e costoso in termini di potenza.

La descrizione dettagliata degli impianti elettrici include il tipo di cavi utilizzati, la potenza degli interruttori e la disposizione delle prese di corrente.

Inoltre, è fondamentale considerare la sicurezza degli impianti elettrici per evitare incidenti e garantire un funzionamento senza problemi.

La manutenzione regolare degli impianti elettrici è essenziale per prevenire guasti e assicurare l'efficienza energetica dell'edificio.

Gli impianti elettrici presenti all'interno del grattaciolo sono progettati e installati in conformità con le norme di sicurezza e gli standard tecnici vigenti.

La descrizione dell'edificio e degli impianti elettrici è un aspetto importante per comprendere le esigenze energetiche della struttura e garantire un funzionamento ottimale.

Il Grattaciolo della Regione Piemonte è un edificio molto grande dove si trovano molti uffici e spazi per ricevere le persone.

Questo significa che ci sono molte persone che usano elettricità e che tutti i sistemi tecnologici sono molto legati tra loro.

La complessità dell'edificio influenza molto gli impianti elettrici.

Questi sono piuttosto complicati e fatti di molte parti, a causa delle diverse esigenze dell'edificio.

Il sistema elettrico include diversi elementi, come ad esempio:

- l'impianto di distribuzione dell'energia elettrica in media e bassa tensione;
- i quadri elettrici di zona e di piano;
- le linee di alimentazione per le utenze ordinarie, le linee privilegiate e le linee per l'alimentazione sicura;
- gli impianti di illuminazione interna ed esterna;
- i sistemi di continuità e di alimentazione di emergenza;
- gli impianti elettrici a servizio dei sistemi speciali e degli impianti tecnologici ausiliari.

Tali componenti concorrono a formare un sistema integrato, nel quale la gestione dell'informazione tecnica assume un ruolo centrale, soprattutto in fase di esercizio e manutenzione.

La varietà delle apparecchiature installate, unita alla necessità di garantire elevati livelli di affidabilità e continuità del servizio, rende l'impianto elettrico un ambito particolarmente significativo per la sperimentazione di metodologie BIM-oriented. Entrando più nello specifico sulla struttura degli impianti elettrici del Grattacielo della Regione Piemonte, partendo dai piani interrati della Torre, si trovano le molteplici cabine elettriche di trasformazione dell'edificio.

L'erogazione costante di energia elettrica anche in caso di guasti e problematiche è garantita da un sistema di alimentazioni elettriche complesso e strutturato che consente, tramite anelli e congiuntori, di avere diverse soluzioni di alimentazione.

In pratica, qualora venisse a mancare l'alimentazione da una delle cabine, si potrà agevolmente garantire la continuità variando la posizione delle celle di congiunzione, aprendo o chiudendo degli interruttori di protezione.

Tutto il sistema origina dalla cabina di ricezione, dove sono presenti due interruttori provenienti dal Distributore e dalla quale avviene lo smistamento dell'energia.

La ricezione avviene alla tensione di 22000V da due diversi POD, con una potenza equivalente a 6000 kW contemporaneamente ATTIVI, tramite un quadro MT di distribuzione la tensione viene portata nelle cabine satellite e ritrasformata a 400V per i normali utilizzi in bassa tensione.

La figura spiega la distribuzione ad anello:

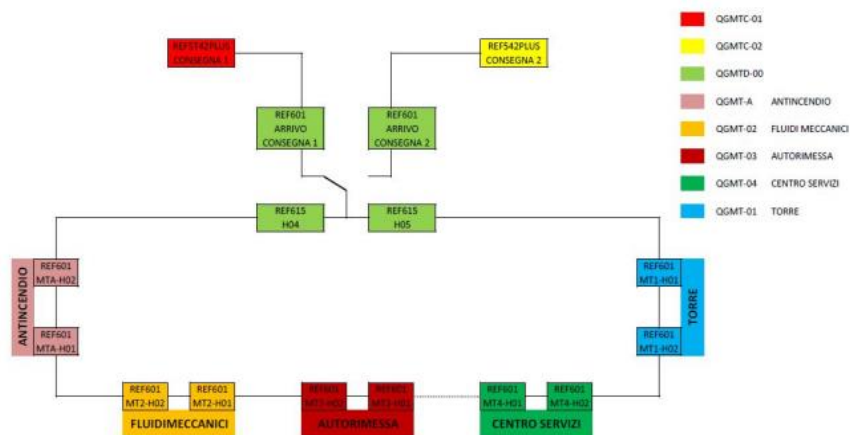


Figura 7: Struttura delle cabine di trasformazione [7]

Nello specifico si dovranno effettuare le manutenzioni sulle seguenti Cabine:

1. Cabina di ricezione MT via Farigliano;
2. Cabina di trasformazione MT/BT torre;
3. Cabina di trasformazione MT/BT comprensoriale impianti fluidomeccanici;
4. Cabina di trasformazione MT/BT autorimessa;
5. Cabina di trasformazione MT/BT centro servizi;
6. Cabina di trasformazione MT/BT antincendio;
7. Cabina di trasformazione MT/BT gruppi elettrogeni.

Entrando nel dettaglio della distribuzione dell'energia elettrica in media tensione, l'impianto del Grattacielo della Regione Piemonte è stato progettato secondo una configurazione ad anello, soluzione impiantistica che consente di garantire elevati livelli di continuità del servizio, ridondanza delle alimentazioni e flessibilità di esercizio, requisiti fondamentali per un edificio strategico e ad alta densità di utenze.

La consegna principale dell'energia elettrica avviene all'interno della **Cabina di Ricezione Utente**, più precisamente sul quadro **QGMTC-01**, mediante tre cavi unipolari, uno per ciascuna fase, con sezione pari a 185 mm^2 , opportunamente dimensionati per sostenere le correnti nominali di esercizio e le sollecitazioni termiche e dinamiche in condizioni di corto circuito.

QGMTC-01

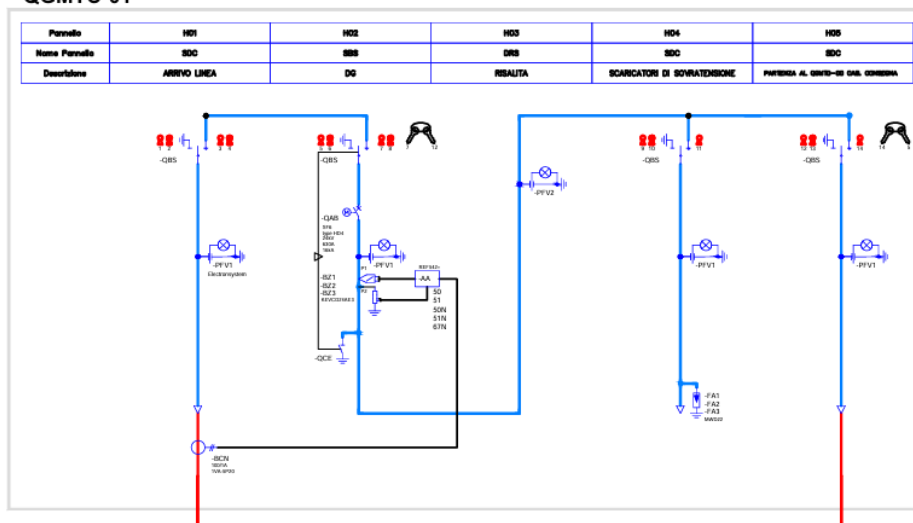


Figura 8: QGMTC-01 [8]

In parallelo è presente una consegna di riserva, attestata sul quadro **QGMTC-02**, realizzata con le stesse caratteristiche costruttive e dimensionali.

QGMTC-02

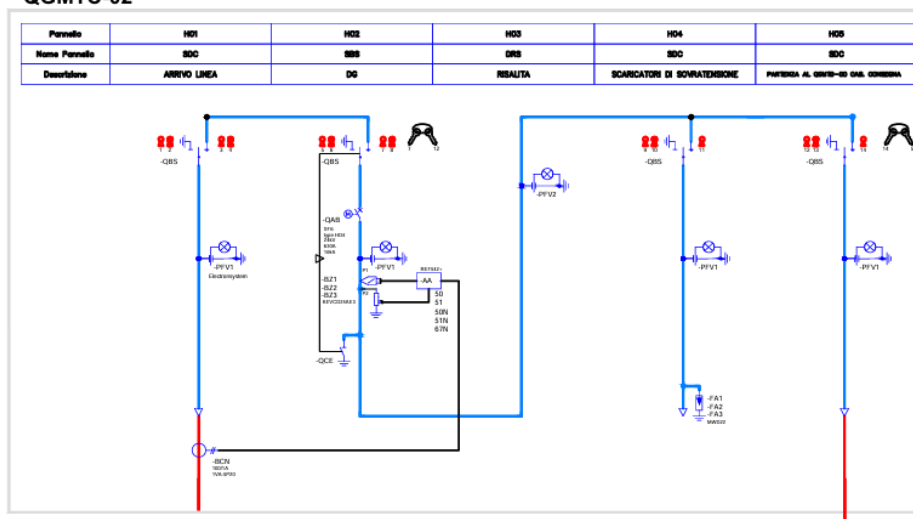


Figura 9: QGMTC-02 [9]

Tale doppia alimentazione in ingresso consente di assicurare la continuità del servizio anche in caso di indisponibilità di una delle due forniture.

Le partenze dei quadri QGMTC-01 e QGMTC-02 confluiscono entrambe nel quadro **QGMTC-00**, sempre ubicato all'interno della cabina di ricezione.

Questo quadro rappresenta il punto di origine della rete in anello in media tensione, dalla quale si dirama l'intera distribuzione elettrica dell'edificio.

QGMTD-00

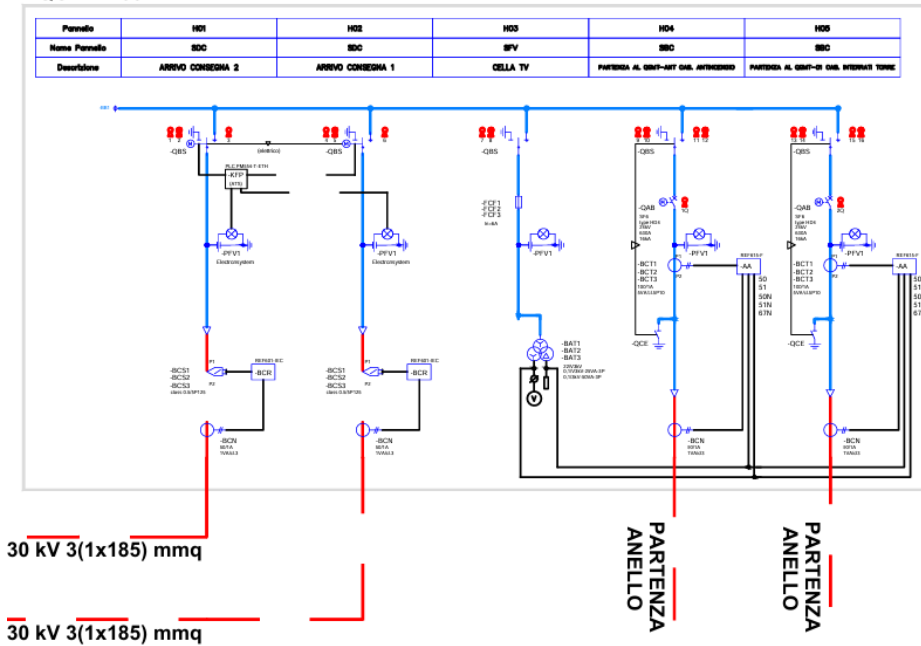
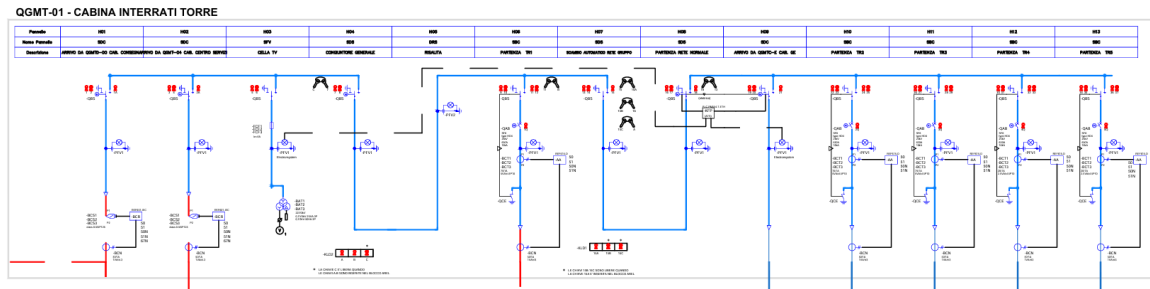


Figura 10: QGMTD-00 [10]

Un elemento qualificante della cabina di ricezione è rappresentato dalla tipologia delle apparecchiature di protezione adottate: ciascuna linea in media tensione è infatti protetta da interruttori con corrente nominale pari a 630 A, isolati in SF₆, tecnologia che garantisce elevate prestazioni in termini di affidabilità, compattezza e sicurezza operativa. Da questo punto ha inizio, a tutti gli effetti, la struttura ad anello.

Cabina Interrati Torre – Quadro QGMT-01

Una delle due partenze principali dell'anello raggiunge la Cabina Interrati Torre, all'interno della quale è installato il quadro di media tensione QGMT-01.



QGMT-01 [9]

Da questo quadro si dipartono complessivamente sette linee, opportunamente suddivise in funzione della tipologia di alimentazione servita.

In particolare:

- Quattro linee sono dedicate all'alimentazione privilegiata, e alimentano i seguenti trasformatori:
 - TR 2 con potenza nominale $S_n = 2500$ kVA
 - TR 3 con potenza nominale $S_n = 2500$ kVA
 - TR 4 con potenza nominale $S_n = 500$ kVA
 - TR 5 con potenza nominale $S_n = 500$ kVA
- Una linea è riservata all'alimentazione ordinaria, collegata al trasformatore:
 - TR 1 con potenza nominale $S_n = 2500$ kVA
- Una linea, riservata esclusivamente alla privilegiata, è collegata all'arrivo del quadro QGMT-E, ubicato nella Cabina Gruppi Elettrogeni
- L'ultima linea è dedicata alla prosecuzione dell'anello e collega il QGMT-01 al quadro QGMT-04, installato nella Cabina Centro Servizi

Questa configurazione evidenzia come, già a partire dalla Cabina Interrati Torre, l'alimentazione privilegiata rivesta un ruolo predominante rispetto a quella ordinaria.

Cabina Centro Servizi – Quadro QGMT-04

Il quadro QGMT-04, installato nella Cabina Centro Servizi, riceve l'alimentazione dal QGMT-01 e prosegue la distribuzione in anello.

QGMT-04 - CABINA CENTRO SERVIZI

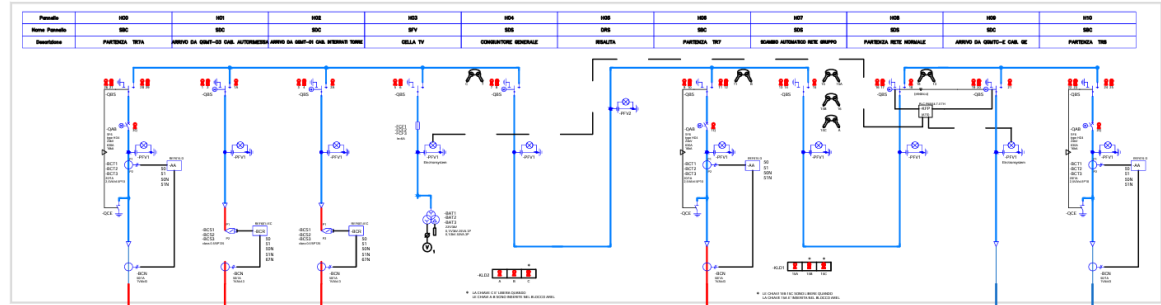


Figura 11: QGMT-04 [11]

Da questo quadro si dipartono complessivamente cinque linee, così suddivise:

- Una linea riservata all'alimentazione privilegiata, che alimenta il trasformatore:
 - TR 8 con potenza nominale $S_n = 630$ kVA
- Due linee riservate all'alimentazione ordinaria, collegate ai trasformatori:
 - TR 7 con $S_n = 630$ kVA
 - TR 7A con $S_n = 800$ kVA
- Una linea collegata al quadro QGMT-E, per la gestione dell'alimentazione privilegiata tramite gruppi elettrogeni
- Una linea di prosecuzione dell'anello, diretta verso il quadro QGMT-03, installato nella Cabina Autorimessa

Cabina Autorimessa – Quadro QGMT-03

Il quadro QGMT-03 presenta una struttura del tutto analoga a quella del QGMT-04, con una linea in meno per l'alimentazione ordinaria. In particolare, risultano presenti:

- Una linea privilegiata, che alimenta il trasformatore:
 - TR 10 con $S_n = 630$ kVA
- Una linea ordinaria, che alimenta il trasformatore:
 - TR 9 con $S_n = 630$ kVA
- Una linea collegata al quadro QGMT-E, per l'alimentazione privilegiata
- Una linea di prosecuzione dell'anello, diretta verso il quadro QGMT-02

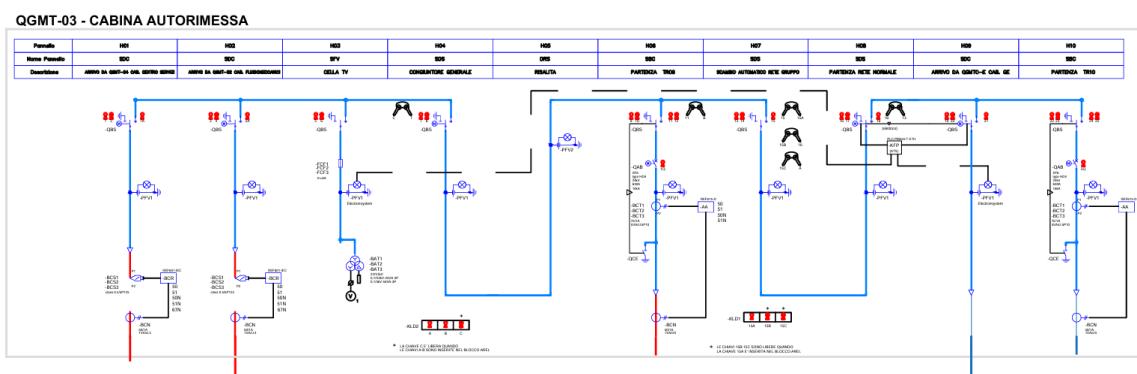


Figura 12: QGMT-03 [12]

Cabina Fluidomeccanici – Quadro QGMT-02

Il quadro QGMT-02, installato nella Cabina Fluidomeccanici, riceve l'alimentazione dalla Cabina Autorimessa e costituisce un ulteriore nodo dell'anello in media tensione. Da questo quadro si dipartono complessivamente cinque linee, così articolate:

- Una linea riservata all'alimentazione privilegiata, che alimenta il trasformatore:
 - TR 12 con $S_n = 2000$ kVA
- Una linea per l'alimentazione ordinaria, collegata al trasformatore:
 - TR 11 con $S_n = 2000$ kVA
- Una linea collegata al quadro QGMT-E, per l'integrazione con i gruppi elettrogeni
- Una linea di prosecuzione dell'anello, diretta verso la Cabina Antincendio

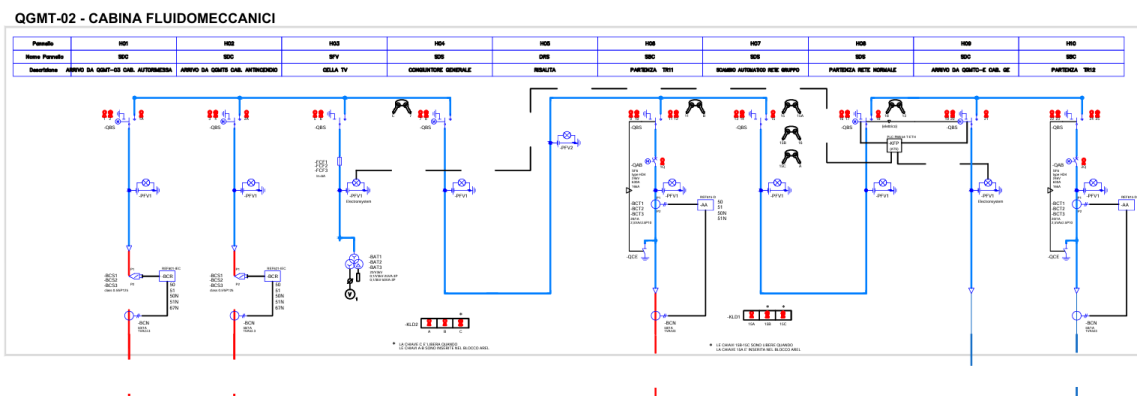


Figura 13: QGMT-02 [13]

Cabina Antincendio – Quadro QGMT-ANT

L'ultima cabina servita dall'anello in media tensione è la Cabina Antincendio, all'interno della quale è installato il quadro QGMT-ANT. Anche in questo caso la distribuzione ricalca lo schema già descritto:

- Una linea riservata all'alimentazione privilegiata, che alimenta il trasformatore:
 - TR 16 con $S_n = 1600$ kVA
- Una linea per l'alimentazione ordinaria, collegata al trasformatore:
 - TR 15 con $S_n = 1600$ kVA
- Una linea collegata al quadro QGMT-E, per l'alimentazione privilegiata in emergenza

Da questa cabina, l'ultima linea dell'anello rientra nella Cabina di Ricezione Utente, attestandosi nuovamente sul quadro QGMTD-00, consentendo così la chiusura completa della struttura ad anello in media tensione.

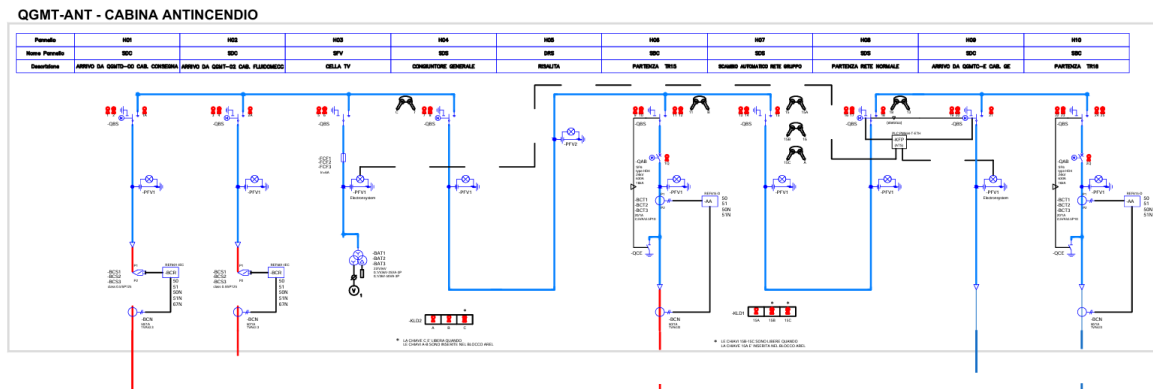


Figura 14: QGMT-ANT [14]

Cabina Gruppi Elettrogeni – Quadro QGMT-E

Il quadro QGMT-E, ubicato nella Cabina Gruppi Elettrogeni, rappresenta il fulcro della gestione dell'alimentazione privilegiata in condizioni di emergenza.

Esso è costituito da cinque arrivi, tutti provenienti dalle diverse cabine dell'anello precedentemente descritte, e da due partenze, rispettivamente dedicate a:

- Gruppo elettrogeno 1
- Gruppo elettrogeno 2

Le due partenze alimentano i trasformatori:

- TR 13 con $S_n = 2000$ kVA
- TR 14 con $S_n = 2000$ kVA

Il lato secondario dei trasformatori, con tensione nominale pari a 400 V, è collegato ai due gruppi elettrogeni, ciascuno di potenza $S_n = 2000$ kVA, garantendo la continuità dell'alimentazione privilegiata in caso di indisponibilità della rete.

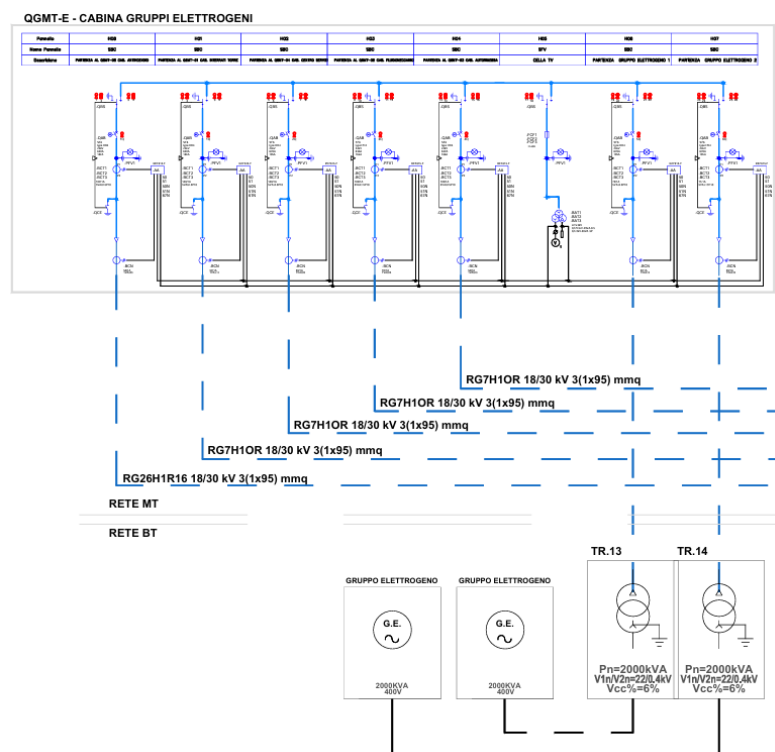


Figura 15: QGMT-E [14]

Conclusa l'analisi della distribuzione dell'energia elettrica in media tensione e della configurazione ad anello che collega tutte le cabine dell'edificio, successivamente l'elaborato si concentrerà sulla distribuzione in bassa tensione, a partire dal **Quadro Generale di Bassa Tensione della Torre (QGBT.1)**, che rappresenta il principale nodo di smistamento delle alimentazioni a servizio dei piani dell'edificio.

Il quadro QGBT.1 è alimentato dai trasformatori installati nella Cabina Interrati Torre, ed in particolare:

- dai trasformatori dedicati all'alimentazione privilegiata,

- e dal trasformatore dedicato all'alimentazione ordinaria.

Come già descritto, il trasformatore TR 1, con potenza nominale $S_n = 2500$ kVA, è destinato all'alimentazione ordinaria della torre, mentre i trasformatori TR 2, TR 3, TR 4 e TR 5, con potenze nominali rispettivamente pari a 2500 kVA, 2500 kVA, 500 kVA e 500 kVA, sono dedicati all'alimentazione privilegiata. Tale distinzione a monte consente una netta separazione funzionale delle utenze già a livello di trasformazione.

Il quadro QGBT.1 è strutturato in modo da garantire una chiara separazione fisica e funzionale tra:

- **sezione di alimentazione ordinaria;**

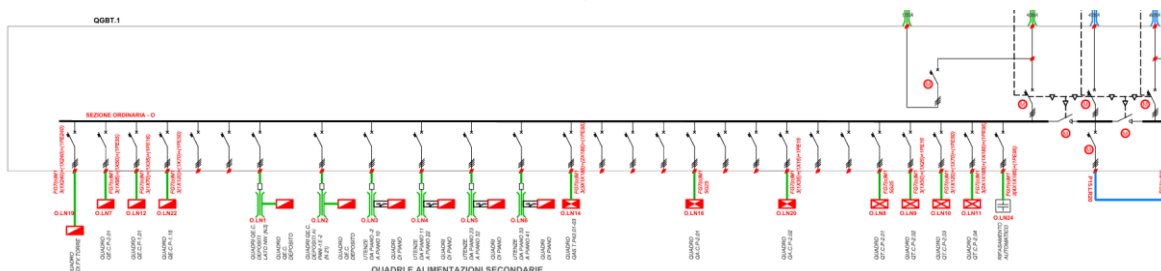


Figura 16: QGBT-1 Sezione ordinaria [16]

- **sezione di alimentazione privilegiata.**

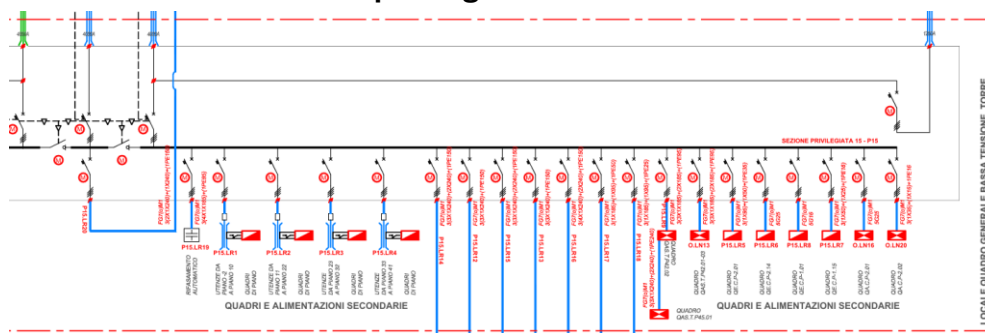


Figura 17: QGBT-1 Sezione privilegiata [17]

Le due sezioni sono interconnesse mediante un sistema di interblocchi elettrici e meccanici, che regolano il funzionamento dei sezionatori di sbarra e degli interruttori di linea.

Tale soluzione progettuale impedisce manovre improprie, garantisce la selettività delle protezioni e consente il corretto instradamento dell'energia in funzione dello stato della rete e della disponibilità delle alimentazioni privilegiate.

La sezione privilegiata del QGBT.1 riveste un ruolo di primaria importanza, in quanto alimenta:

- le utenze critiche della torre;
- i quadri di distribuzione di piano;
- i sistemi di continuità (UPS);
- le dorsali di alimentazione che devono rimanere attive anche in caso di mancanza della rete pubblica.

Dal QGBT.1 partono due linee principali, destinate all'alimentazione delle utenze comprese tra il piano -2 e il piano 10 dell'edificio. Tali linee sono identificate come:

- **P15.LR1**, associata all'alimentazione privilegiata;
- **O.LN3**, associata all'alimentazione ordinaria.

Queste due dorsali costituiscono l'ossatura principale della distribuzione in bassa tensione per i piani della torre, consentendo di separare i carichi in funzione della loro criticità e del livello di continuità richiesto.

Molto importante nella distribuzione elettrica è la sezione dedicata all'alimentazione privilegiata, che non si limita a garantire la continuità tramite gruppi elettrogeni, ma viene ulteriormente rafforzata mediante l'impiego di sistemi UPS, in grado di assicurare un'alimentazione senza soluzione di continuità, anche durante i transitori di commutazione.

Quest'ultimo sistema, ovvero i gruppi di continuità, permettono di avere l'alimentazione continua, dedicata specialmente a quelle utenze che non devono praticamente mai essere scollegate dall'alimentazione elettrica.

Dal QGBT.1 partono complessivamente cinque linee dedicate all'alimentazione sicura, che alimentano i seguenti gruppi di continuità:

- UPS.3A, con potenza nominale $S_n = 800$ kVA;
- UPS.3B, con potenza nominale $S_n = 800$ kVA;
- UPS 4, con potenza nominale $S_n = 160$ kVA.

Gli UPS.3A e UPS.3B sono configurati per garantire la continuità dell'alimentazione privilegiata a un'ampia gamma di utenze critiche. Le loro uscite convergono sul QGBT.3, che rappresenta il quadro di distribuzione privilegiata in uscita dai sistemi di continuità. Dal QGBT.3, tramite la sbarra privilegiata denominata P0.L.C4, viene garantita l'alimentazione delle utenze dal piano -2 al piano 10, assicurando la continuità del servizio anche in presenza di:

- microinterruzioni;
- disturbi di rete;
- transitori di tensione;
- tempi di avviamento dei gruppi elettrogeni.

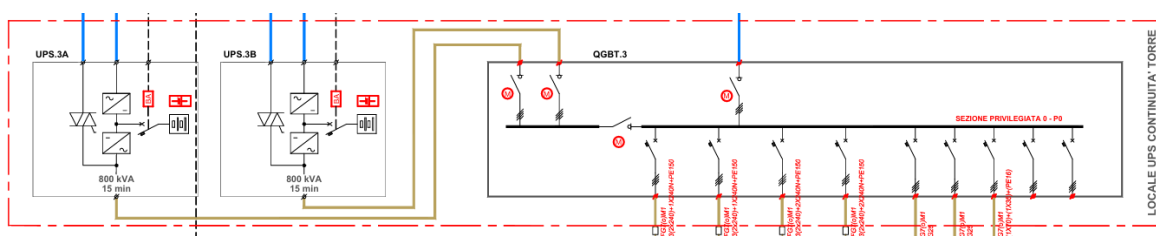


Figura 18: QGBT.3 e UPS 3A/3B [18]

L'UPS 4, di potenza $S_n = 160 \text{ kVA}$, è invece dedicato specificamente all'alimentazione sicura (Safety). La sua uscita alimenta il QGBT.4, che è caratterizzato dalla presenza di una Sezione Security, progettata per servire le utenze che richiedono un livello di affidabilità ancora superiore.

Le utenze collegate a questa sezione sono infatti dotate di doppia alimentazione:

- una proveniente dalla linea privilegiata;
- una proveniente dalla linea sicura gestita dagli UPS.

In caso di guasto della rete o di indisponibilità dell'alimentazione ordinaria e privilegiata, la linea sicura entra immediatamente in funzione, mantenendo alimentate le utenze essenziali senza alcuna interruzione percepibile. Questa configurazione è particolarmente indicata per sistemi di sicurezza, controllo, supervisione e gestione dell'edificio.

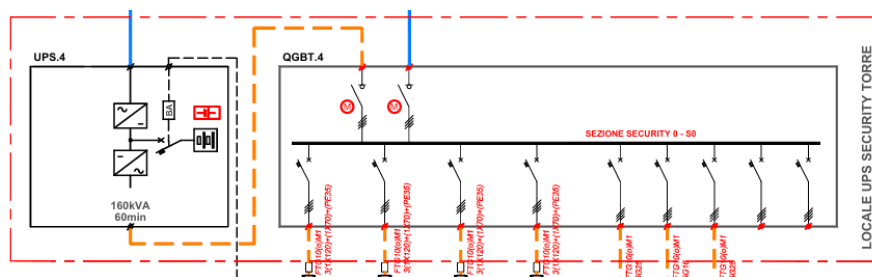


Figura 19: QGBT.4 e UPS.4 [19]

Continuando a descrivere la distribuzione in bassa tensione dell'impianto elettrico della torre regione, Accanto al QGBT.1, l'impianto prevede un secondo quadro generale di bassa tensione, denominato QGBT.2, installato nel Locale Quadri Generali Safety Torre. Questo quadro è alimentato dagli ultimi due trasformatori dedicati, che completano la struttura di ridondanza della distribuzione elettrica.

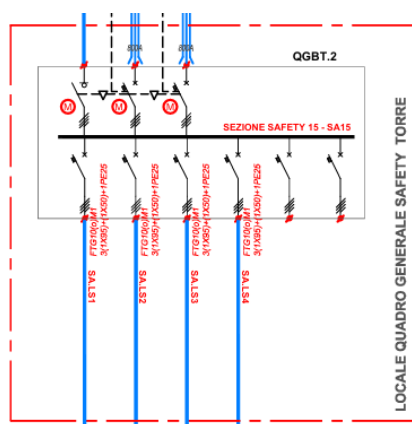


Figura 20: QGBT.2 [20]

Dal QGBT.2 si dipartono due linee principali, dirette verso i quadri:

- QGBT.5
- QGBT.6

Entrambi questi quadri sono alimentati attraverso sistemi di continuità dedicati, nello specifico:

- UPS.5A, con potenza nominale $S_n = 120$ kVA
- UPS.5B, con potenza nominale $S_n = 120$ kVA

Anche in questo caso, la presenza degli UPS garantisce un'alimentazione sicura alle utenze collegate, estendendo la protezione e la continuità di servizio alle utenze comprese tra il piano -2 e il piano 10.

Finito di descrivere l'impianto elettrico che collega il piano di nostro interesse e le cabine di MT degli interrati, dettagliamo la ridondanza del sistema e linee privilegiate e sicure. L'architettura complessiva della distribuzione in bassa tensione, a valle della rete in media tensione ad anello, evidenzia una progettazione fortemente orientata alla ridondanza multilivello.

La continuità dell'alimentazione privilegiata è garantita:

- dalla struttura ad anello in media tensione;
- dalla presenza dei gruppi elettrogeni;
- dall'impiego esteso di sistemi UPS;
- dalla separazione funzionale tra alimentazione ordinaria, privilegiata e sicura.

Tale configurazione consente di soddisfare i requisiti di affidabilità richiesti per un edificio complesso come il Grattacielo della Regione Piemonte, assicurando il corretto funzionamento delle utenze critiche anche in condizioni di guasto o emergenza.

Come verrà approfondito nel successivo capitolo dedicato al software Progetto Integra, la modellazione informativa dell'edificio non si limita alla sola rappresentazione geometrica degli elementi impiantistici, ma si estende alla descrizione funzionale e prestazionale delle cosiddette utenze terminali.

Tali utenze risultano già presenti nel modello as-built sviluppato in ambiente BIM tramite Revit e vengono sistematicamente descritte all'interno degli abachi informativi, che costituiscono uno strumento fondamentale per la gestione e l'analisi dei dati di progetto. Le utenze terminali censite negli abachi risultano riconducibili principalmente alle seguenti categorie:

- dispositivi di allarme antincendio, comprendenti sensori, segnalatori ottico-acustici e sistemi di attivazione manuale, essenziali ai fini della sicurezza dell'edificio e della conformità alla normativa antincendio vigente;
- apparecchi elettrici, quali ventilconvettori e Unità di Trattamento dell'Aria (UTA), strettamente connessi agli impianti di climatizzazione e al controllo del comfort termo-igrometrico degli ambienti;

- attrezzature elettriche, tra cui torrette per prese di forza motrice e sistemi di alimentazione per blindosbarre, destinate alla distribuzione dell'energia elettrica e alla flessibilità d'uso degli spazi;
- apparecchi per l'illuminazione, comprendenti non solo i corpi illuminanti, ma anche gli interruttori e i dispositivi di protezione associati, fondamentali per garantire continuità di servizio e sicurezza degli impianti;
- dispositivi di comunicazione, finalizzati alla trasmissione di segnali e informazioni all'interno dell'edificio;
- dispositivi di illuminazione, intesi come elementi terminali del sistema illuminotecnico;
- dispositivi di sicurezza, connessi al controllo degli accessi e alla protezione delle persone;
- dispositivi dati, destinati alla gestione delle reti informatiche e dei flussi informativi.

Oltre a tali dispositivi, anticipando quanto verrà trattato nel capitolo dedicato al modello as-built in Revit, il progetto comprende anche una dettagliata rappresentazione delle passerelle portacavi presenti all'interno del grattacielo, nonché dei relativi raccordi e collegamenti.

Questi elementi rivestono un ruolo centrale nella corretta distribuzione degli impianti elettrici e speciali, contribuendo all'ordine, alla manutenibilità e alla sicurezza dell'infrastruttura impiantistica complessiva.

Per ciascun utilizzatore censito negli abachi di Revit, il software Progetto Integra consente una descrizione approfondita e strutturata delle caratteristiche tecniche associate.

In particolare, vengono definite le specifiche degli interruttori di protezione, dei dispositivi differenziali, dei multimetri associati alle singole utenze, nonché il dimensionamento dei cavi elettrici. Tale dimensionamento include la determinazione delle sezioni dei conduttori, la valutazione delle portate ammissibili e la verifica della compatibilità con i carichi previsti, in conformità ai principi dell'ingegneria elettrica e alle normative tecniche di riferimento.

L'integrazione tra il modello informativo BIM e il software di progettazione impiantistica consente dunque una gestione coordinata e coerente dei dati, favorendo un approccio sistemico alla progettazione e alla verifica degli impianti.

Questo metodo risponde ai più recenti orientamenti teorici della progettazione integrata, nei quali il dato informativo assume un ruolo centrale non solo in fase di progettazione, ma anche nelle successive fasi di realizzazione, gestione e manutenzione dell'edificio.

3.2. Il modello BIM esistente in Autodesk Revit 2019

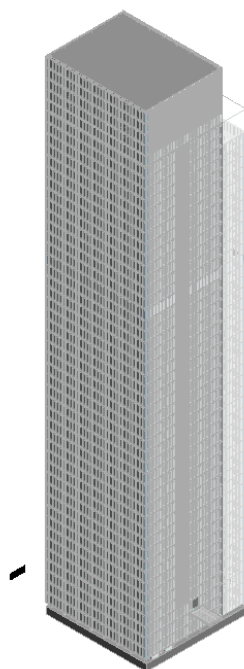


Figura 21: *As-built Grattaciolo della Regione su Revit [21]*

Il presente elaborato fa riferimento al modello tridimensionale della Torre del Grattaciolo della Regione Piemonte, sviluppato al fine di rappresentare in maniera integrata l'intera struttura dell'edificio.

La vista 3D consente una lettura complessiva e sistematica del manufatto, rendendo immediatamente comprensibili sia l'organizzazione spaziale sia le relazioni tra gli elementi strutturali e architettonici che caratterizzano l'intervento.

Attraverso il modello tridimensionale è possibile visualizzare l'insieme delle componenti architettoniche, permettendo una restituzione fedele dell'involucro edilizio e della distribuzione degli spazi interni.

Tale rappresentazione costituisce la base conoscitiva indispensabile per l'analisi e l'integrazione dei sistemi impiantistici, secondo un approccio coerente con le metodologie di progettazione digitale avanzata.

L'attenzione dell'analisi si concentra principalmente sugli impianti elettrici, con particolare riferimento alle attrezzature elettriche già descritte nel capitolo precedente.

Il modello 3D diventa pertanto uno strumento essenziale per l'individuazione, il coordinamento e la verifica delle soluzioni impiantistiche adottate, consentendo di valutare l'inserimento delle componenti elettriche all'interno del contesto architettonico e di garantirne la coerenza funzionale e progettuale.

Nei capitoli successivi l'analisi si focalizzerà in modo più approfondito sui parametri condivisi che sono stati implementati all'interno del modello informativo.

Tali parametri rivestono un ruolo centrale nella strutturazione dei dati e consentono un collegamento diretto e coerente con gli abachi informativi, riportati nelle sezioni sottostanti, attraverso i quali è possibile effettuare interrogazioni, verifiche e controlli sistematici sugli elementi modellati.

Verrà inoltre introdotto un approfondimento relativo ai diversi Level of Development (LOD) già impostati all'interno del modello.

Come anticipato nei paragrafi precedenti, particolare attenzione sarà rivolta ai livelli di sviluppo associati alle apparecchiature elettriche, al fine di evidenziare non solo il grado di dettaglio geometrico e informativo raggiunto e la sua coerenza con le fasi progettuali considerate, ma anche la definizione del collegamento elettrico delle singole utenze.

In tale contesto, i LOD permetteranno di descrivere in maniera progressivamente più accurata le modalità di connessione agli impianti di distribuzione, l'associazione ai quadri elettrici di riferimento e l'integrazione con i sistemi di protezione, contribuendo a una rappresentazione completa e funzionale dell'impianto elettrico all'interno del modello informativo.

3.2.1. Contenuti informativi del modello

Al fine di garantire un'efficace interoperabilità tra il modello informativo sviluppato in ambiente BIM e il software di progettazione e calcolo impiantistico Progetto Integra, si è reso necessario definire una struttura coerente di parametri condivisi.

Tali parametri consentono di uniformare le informazioni presenti nel modello tridimensionale con i campi utilizzati all'interno del software di calcolo, permettendo uno scambio dati ordinato, tracciabile e privo di ambiguità.

Nel file di progetto di Progetto Integra, infatti, le informazioni sono organizzate prevalentemente per linea o circuito elettrico, includendo dati relativi al quadro di provenienza, alla sigla della linea, alle protezioni, alla lunghezza del circuito, al dimensionamento dei cavi, al fattore di potenza ($\cos\phi$) e ad altri parametri elettrici fondamentali.

Per questo motivo, la soluzione ritenuta più robusta e funzionale è stata l'impostazione di un abaco di categoria riferito ai Circuiti elettrici, all'interno del quale concentrare la maggior parte dei campi informativi necessari.

In via opzionale, è stata valutata la possibilità di predisporre un secondo abaco dedicato alle Apparecchiature elettriche, utile per estrarre informazioni specifiche dei quadri elettrici (quali marca, tipologia di quadro, presenza di UPS o trasformatore).

Tuttavia, al fine di semplificare l'esportazione dei dati verso Progetto Integra, si è scelto di riportare tali informazioni direttamente all'interno dei parametri associati ai circuiti elettrici, così da ottenere un unico abaco completo e facilmente gestibile.

Detto ciò, quindi, il primo passaggio operativo ha riguardato la predisposizione del file dei parametri condivisi, necessario per la creazione di campi informativi non presenti nativamente in Revit e riutilizzabili in altri progetti o famiglie.

Attraverso il percorso:

Gestisci → Parametri condivisi

è stato creato un nuovo file, denominato ad esempio Parametri_Integra.txt, che funge da contenitore centralizzato per tutti i parametri personalizzati.

All'interno del file sono stati definiti diversi gruppi di parametri, organizzati in modo gerarchico e funzionale (ad esempio: Integra – Circuito, Integra – Quadro, Integra –

Cavo), al fine di mantenere ordine, leggibilità e coerenza nella gestione delle informazioni.

Successivamente, sono stati creati i singoli parametri condivisi, adottando come denominazione esattamente le intestazioni utilizzate all'interno del software *Progetto Integra*, così da facilitare il riconoscimento dei campi e l'esportazione dei dati.

Tutti i parametri sono stati definiti come **parametri di istanza**, in quanto devono essere compilati singolarmente per ciascun circuito elettrico, e associati alla disciplina elettrica ove disponibile.

I parametri sono stati suddivisi in sezioni tematiche, comprendenti:

- parametri di identificazione e ubicazione dell'utenza (edificio, piano, zona, codice locale);
- parametri relativi alla rete di alimentazione, all'impianto e al quadro elettrico di riferimento;
- parametri dedicati alle linee e ai circuiti, incluse sigle, descrizioni e tipologia di utenza;
- parametri relativi ai dispositivi di protezione, strutturati fino a tre stadi distinti, comprendenti tipologia, curva di intervento, classe differenziale, marca, poli e valori nominali;
- parametri per il dimensionamento dei cavi e delle linee, quali lunghezza, polarità, potenza, $\cos\phi$, sezione dei conduttori, modalità di posa, numero di cavi e caratteristiche normative;
- parametri relativi a trasformatori, sistemi di alimentazione, forniture, UPS e dati di cortocircuito.

Qualora alcuni di questi dati fossero già disponibili come parametri nativi dei circuiti elettrici di Revit (ad esempio pannello di alimentazione, fattore di potenza o carichi elettrici), si è evitata la duplicazione delle informazioni, privilegiando l'utilizzo diretto dei campi nativi all'interno degli abachi.

Una volta definiti i parametri all'interno del file condiviso, si è proceduto alla loro integrazione nel modello BIM attraverso la creazione dei *parametri di progetto*.

Mediante il percorso:

Gestisci → Parametri di progetto → Aggiungi

è stata selezionata l'opzione Parametro condiviso, scegliendo di volta in volta il parametro desiderato dal file Parametri_Integra.txt.

Ogni parametro è stato associato alla categoria Circuiti elettrici, con archiviazione di tipo istanza, così da renderlo compilabile per ciascun circuito.

In alcuni casi selezionati, i parametri sono stati associati anche alla categoria Apparecchiature elettriche, al fine di consentire una maggiore flessibilità di utilizzo e una futura estensione del modello.

Nel caso della regione Piemonte tutti i parametri condivisi, in realtà, sono associati a tutti gli abachi, così in questa maniera si riuscirà a far comunicare i due programmi. L'ultimo passaggio ha riguardato l'aggiornamento degli abachi già presenti nel modello.

All'interno dell'abaco dei circuiti elettrici, ad esempio, sono state aggiunte nuove colonne corrispondenti ai parametri condivisi precedentemente creati, selezionandoli dall'elenco dei campi disponibili.

In questo modo, ogni colonna dell'abaco risulta direttamente allineata ai campi del software Progetto Integra.

Questa impostazione consente di compilare, verificare ed esportare i dati direttamente dall'abaco di Revit, garantendo una comunicazione coerente e bidirezionale tra il modello BIM e il software di calcolo impiantistico.

L'abaco diventa così uno strumento centrale non solo per la documentazione progettuale, ma anche per il controllo dei dati, il coordinamento interdisciplinare e il supporto alle successive fasi di calcolo, verifica e gestione dell'impianto elettrico.

Oltre ai parametri condivisi e agli abachi informativi precedentemente descritti, il modello BIM della Torre del Grattaciolo della Regione Piemonte risulta strutturato attraverso un'articolata organizzazione delle categorie di elementi, che costituiscono l'ossatura informativa del progetto sviluppato in ambiente Revit 2019. Tali categorie, come evidenziato nelle schermate riportate, rappresentano l'insieme dei contenuti informativi effettivamente presenti e attivi all'interno del modello.

Nel progetto in esame risultano modellate e gestite numerose categorie appartenenti all'ambito architettonico, strutturale e impiantistico.

Tra queste si annoverano, in particolare, le categorie relative:

- agli apparecchi elettrici,
- alle attrezzature elettriche,
- agli apparecchi per l'illuminazione,
- agli impianti speciali, che assumono un ruolo centrale ai fini dell'analisi impiantistica sviluppata nei capitoli precedenti.

Accanto a queste, il modello include anche categorie afferenti agli impianti idraulici e meccanici, garantendo una visione coordinata e multidisciplinare dell'edificio.

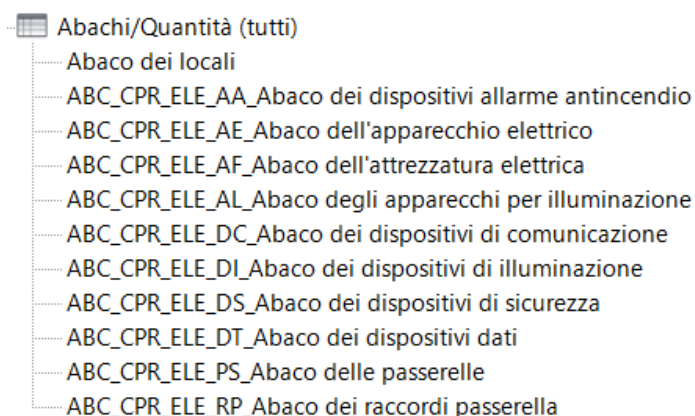


Figura 22: Abachi su Revit 2019 [22]

Dal punto di vista architettonico e distributivo, il modello comprende categorie quali muri, pavimenti, solai, controsoffitti, porte, finestre, scale, rampe e ringhiere, che consentono una rappresentazione completa dell'involucro edilizio e degli spazi interni.

Particolare rilevanza assume inoltre la categoria dei locali, fondamentale per la correlazione tra spazi, utenze e parametri informativi, soprattutto in relazione agli abachi e alla gestione delle apparecchiature elettriche per ambiente.

Per quanto concerne la componente strutturale, il modello include categorie quali pilastri strutturali, travi, telai strutturali, fondazioni, armature, reti e rinforzi strutturali, nonché elementi legati alla facciata continua e ai sistemi portanti verticali e orizzontali.

Tali categorie risultano coerenti con il livello di complessità dell'edificio e permettono un coordinamento efficace tra struttura, architettura e impianti.

Sono inoltre presenti categorie di supporto alla modellazione e alla gestione del progetto, come linee, modelli generici, masse, topografia, verde, strade e contesto, che contribuiscono a definire il rapporto tra l'edificio e l'ambiente circostante, nonché a supportare le fasi di studio volumetrico, coordinamento e rappresentazione.

Nel contesto di un modello BIM sviluppato in Revit 2019, i contenuti informativi non si limitano alla mera presenza geometrica degli elementi, ma includono un insieme strutturato di dati associati alle singole categorie, quali parametri dimensionali, prestazionali, funzionali e gestionali.

Nel caso specifico del progetto analizzato, tali contenuti sono stati calibrati in funzione delle esigenze impiantistiche ed elettriche dell'edificio, con particolare attenzione alla possibilità di interrogare il modello attraverso abachi e parametri condivisi.

L'organizzazione delle categorie mostrata riflette quindi una scelta progettuale consapevole, orientata a rendere il modello uno strumento informativo avanzato, capace di supportare non solo la rappresentazione tridimensionale, ma anche le attività di verifica, coordinamento e scambio dati con software specialistici, come Progetto Integra.

In questo senso, il modello BIM assume il ruolo di ambiente unico di raccolta e gestione delle informazioni, all'interno del quale le categorie di Revit costituiscono il livello strutturante su cui si innestano i parametri, gli abachi e i livelli di sviluppo (LOD) analizzati nei capitoli successivi.

L'insieme dei contenuti informativi presenti nel modello risulta pertanto coerente con la complessità dell'opera e con gli obiettivi del progetto, confermando l'utilizzo del BIM non solo come strumento di modellazione, ma come metodologia integrata per la progettazione e la gestione degli impianti elettrici all'interno di un edificio ad alta complessità funzionale.

3.2.2. Livello di sviluppo (LOD) degli impianti

Nel contesto della modellazione informativa dell'edificio (Building Information Modeling – BIM), uno dei concetti più importanti per la gestione, la rappresentazione e lo scambio delle informazioni è costituito dai cosiddetti Livelli di Sviluppo, noti con l'acronimo LOD – Level of Development.

Questo concetto rappresenta uno standard condiviso per definire in maniera chiara il grado di affidabilità, completezza e dettaglio delle informazioni associate agli elementi di un modello BIM nelle diverse fasi di un progetto.

Il termine LOD è utilizzato per descrivere non solo la complessità geometrica di un elemento, ma anche la completezza delle informazioni che gli sono associate.

In letteratura, infatti, il Level of Development è definito come un quadro di riferimento normalizzato che specifica la quantità di informazione e precisione che devono essere incluse in un modello BIM in relazione allo stadio del progetto considerato.

La normativa internazionale e le linee guida di settore, come quelle elaborate dall'American Institute of Architects (AIA), introducono tipicamente una scala di livelli di sviluppo che vanno da un grado molto preliminare fino alla piena rappresentazione delle condizioni reali di costruzione (*as-built*). In questa prospettiva:

- **LOD 100** rappresenta un livello concettuale o iniziale, in cui gli oggetti sono modellati con geometria di massima o simbolica e le informazioni sono ancora approssimative;
- **LOD 200** corrisponde a un livello in cui gli elementi presentano forma, posizione e dimensioni approssimate, spesso sufficienti per analisi preliminari o di fattibilità;
- **LOD 300** identifica un livello in cui gli elementi sono definiti con geometria precisa e con dati tecnici coerenti con la progettazione dettagliata;
- **LOD 350** comprende ulteriori informazioni di coordinamento e interfaccia tra i vari sistemi, quali connessioni e dettagli funzionali;
- **LOD 400** rimanda alle informazioni di dettaglio necessarie per fabbricazione, assemblaggio e costruzione;
- infine, **LOD 500** è associato alla rappresentazione *as-built*, ovvero alla modellazione delle componenti così come costruite e verificate in cantiere, e risulta fondamentale per le attività di gestione e manutenzione dell'opera.

Questa scala di livelli non deve essere intesa semplicemente come una progressiva definizione grafica, ma piuttosto come un incremento di affidabilità, completezza e usabilità delle informazioni contenute nel modello.

In altre parole, a un aumento del LOD corrisponde un ampliamento quantitativo e qualitativo dei dati descrittivi e prestazionali associati agli oggetti digitali, rendendoli idonei a specifici utilizzi progettuali e operativi.

È importante sottolineare come, in ambito normativo italiano, la norma UNI 11337-4:2017 introduca una classificazione analoga di livelli che va da *LOD A* (rappresentazione simbolica) fino a *LOD G* (dati aggiornati per la gestione), evidenziando la continuità concettuale tra le scale internazionali e le prassi applicative nazionali.

Nel progetto della Torre del Grattaciolo della Regione Piemonte, l'adozione di diversi livelli di sviluppo per le apparecchiature elettriche e gli impianti consente non solo di definire con precisione le geometrie e le relazioni spaziali dei componenti

impiantistici, ma anche di associare a ciascun elemento i dati tecnici e funzionali richiesti per l'analisi impiantistica e per lo scambio informativo con strumenti specialistici, come Progetto Integra.

In tale ambito, definire il collegamento elettrico all'interno dei livelli di sviluppo significa specificare non solo la rappresentazione grafica dell'elemento, ma anche la completezza delle informazioni necessarie per il calcolo, la verifica normativa e la gestione.

Tale approccio favorisce un uso coerente e interoperabile del modello lungo tutte le fasi del processo edilizio

Al fine di chiarire in modo operativo il concetto di Livello di Sviluppo (LOD), si riporta di seguito un esempio applicativo riferito a un sistema di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria (HVAC), coerente con quanto illustrato nel materiale didattico di riferimento.

L'esempio evidenzia come, al crescere del LOD, aumentino progressivamente sia il livello di definizione geometrica (*LOG*), sia la quantità e qualità delle informazioni associate (*LOI*):

- LOD A / LOD 100 – Sistema HVAC concettuale

A un primo livello di sviluppo, il sistema HVAC è rappresentato in forma puramente simbolica o concettuale.

La modellazione ha l'obiettivo di indicare la presenza del sistema e la sua funzione generale, senza fornire informazioni dimensionali o prestazionali affidabili.

Dal punto di vista geometrico, gli elementi sono schematizzati tramite volumi semplificati o tracciati indicativi; dal punto di vista informativo, le informazioni sono limitate alla tipologia di impianto e alla sua collocazione funzionale all'interno dell'edificio.

- LOD B / LOD 200 – Sistema HVAC generico

Al livello successivo, il sistema HVAC viene rappresentato come oggetto generico, con una geometria approssimata ma coerente con gli ingombri reali.

Le principali componenti dell'impianto (canalizzazioni, unità principali, terminali) sono riconoscibili e correttamente posizionate nello spazio.

Le informazioni associate permettono una prima valutazione delle interazioni con le altre discipline (architettura e strutture), ma non sono ancora sufficienti per il calcolo o la verifica impiantistica dettagliata.

- LOD C / LOD 300 – Sistema HVAC definito

A questo livello di sviluppo, il sistema HVAC risulta completamente definito dal punto di vista geometrico.

Le dimensioni delle canalizzazioni, la posizione delle unità e la disposizione dei terminali sono modellate in modo preciso e coerente con il progetto esecutivo.

Dal punto di vista informativo, ogni elemento è associato a dati tecnici fondamentali, quali tipologia di componente, portate d'aria nominali, materiali e identificativi.

Il modello può essere utilizzato per analisi di interferenza (clash detection) e per una progettazione coordinata multidisciplinare.

- **LOD D / LOD 400 – Sistema HVAC dettagliato e costruttivo**

Al LOD 400, il sistema HVAC raggiunge un livello di sviluppo idoneo alla realizzazione. Gli elementi sono modellati con un grado di dettaglio tale da includere supporti, connessioni, staffaggi e modalità di installazione.

Le informazioni associate consentono di descrivere in modo completo le caratteristiche prestazionali e costruttive dei componenti, rendendo il modello utilizzabile per la prefabbricazione, la pianificazione delle attività di cantiere e il coordinamento avanzato.

- **LOD E–F–G / LOD 500 – Sistema HVAC as-built**

Nel livello più avanzato, il sistema HVAC è rappresentato come effettivamente realizzato.

Il modello viene aggiornato sulla base delle condizioni reali di installazione e include dati certificati relativi a componenti, prestazioni, manutenzione e gestione.

Questo livello di sviluppo è particolarmente rilevante per le fasi di facility management e per la gestione dell'edificio nel suo ciclo di vita, poiché il modello diventa un vero e proprio archivio informativo dell'impianto.

L'esempio appena fatto sul sistema HVAC dimostra come il LOD non rappresenti un semplice aumento del dettaglio grafico, ma un progressivo incremento dell'affidabilità informativa del modello.

Ogni livello di sviluppo rende l'oggetto BIM utilizzabile per scopi diversi, passando da una funzione puramente concettuale a un ruolo operativo e gestionale.

Questo approccio risulta direttamente applicabile anche agli impianti elettrici del Grattacielo della Regione Piemonte, oggetto della presente tesi, nei quali il LOD consente di definire in modo strutturato il collegamento elettrico, le caratteristiche tecniche e l'integrazione degli impianti all'interno del modello informativo complessivo.

BIM Level of Development

(LOD) 100 | 200 | 300 | 350 | 400 | 500

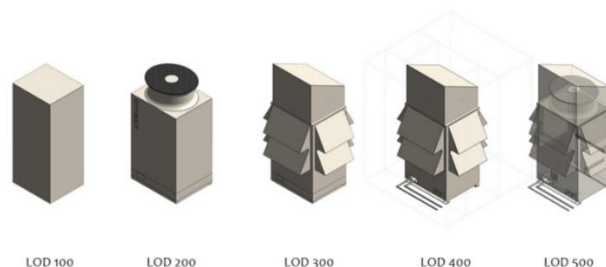


Figura 23: BIM LOD [23]

3.3. Il software INTEGRA per la gestione manutentiva

Nel contesto della progettazione degli impianti elettrici, l'utilizzo di strumenti di calcolo e verifica dedicati riveste un ruolo centrale al fine di garantire la corretta definizione delle soluzioni impiantistiche, il rispetto delle normative tecniche vigenti e l'ottimizzazione delle scelte progettuali.

In tale ambito si colloca Integra, software per la progettazione elettrica sviluppato in ambiente Microsoft Excel, ampiamente utilizzato per il dimensionamento, il calcolo e la verifica degli impianti elettrici in edifici complessi.

Il software Integra si configura come uno strumento strutturato per la gestione delle informazioni relative ai circuiti elettrici, ai quadri di distribuzione, ai dispositivi di protezione e alle linee di alimentazione.

Attraverso un'impostazione tabellare, il programma consente di organizzare in modo sistematico i dati di progetto, quali potenze installate, correnti di impiego, fattori di contemporaneità, caratteristiche dei cavi, dispositivi di protezione e parametri di sicurezza, restituendo in output i risultati dei calcoli necessari alla verifica dell'impianto.

Uno degli aspetti di maggiore rilevanza di Integra risiede nella possibilità di strutturare il progetto per linee e circuiti, rendendo il software particolarmente adatto all'integrazione con modelli informativi BIM.

In questo senso, Integra non si limita a svolgere una funzione di calcolo, ma si inserisce all'interno di un flusso di lavoro più ampio, nel quale i dati estratti dal modello BIM possono essere utilizzati come input per le verifiche elettriche, favorendo coerenza informativa e riduzione degli errori.

All'interno della presente tesi, il software Integra viene analizzato come strumento di supporto alla progettazione degli impianti elettrici del Grattacielo della Regione Piemonte, con particolare attenzione alle modalità di scambio dei dati con il modello BIM sviluppato in ambiente Revit.

Tale integrazione consente di evidenziare il valore del dato informativo come elemento centrale del processo progettuale, in linea con i principi del Building Information Modeling e con un approccio orientato alla progettazione integrata.

3.3.1. Funzionalità e caratteristiche

Il software Integra, sviluppato in ambiente Microsoft Excel, rappresenta uno strumento di supporto avanzato per la progettazione, il dimensionamento e la verifica degli impianti elettrici in edifici complessi.

La sua struttura tabellare consente di gestire in modo sistematico e ordinato un elevato numero di informazioni tecniche, rendendolo particolarmente adatto alla modellazione di impianti articolati su più livelli e caratterizzati da una molteplicità di utenze e sistemi di alimentazione.

Nel presente lavoro, Integra è stato utilizzato per ricostruire l'intero schema elettrico della Torre del Grattacielo della Regione Piemonte, con particolare riferimento allo sviluppo delle linee di alimentazione fino al piano 6.

L'attività ha previsto l'inserimento e la gestione di tutti i principali componenti dell'impianto elettrico, consentendo una rappresentazione coerente e completa del sistema di distribuzione dell'energia.

All'interno del software è stato ricreato l'intero percorso dell'energia elettrica, a partire dalla fornitura fino alle utenze terminali, includendo:

- quadri di media tensione (MT);
- sistemi di trasformazione e distribuzione;
- gruppi elettrogeni per l'alimentazione di emergenza;
- sistemi UPS a servizio delle utenze sensibili;
- quadri elettrici di distribuzione;
- interruttori di protezione e manovra;
- utenze finali, quali apparecchi di illuminazione (ad esempio plafoniere) e altri dispositivi elettrici.

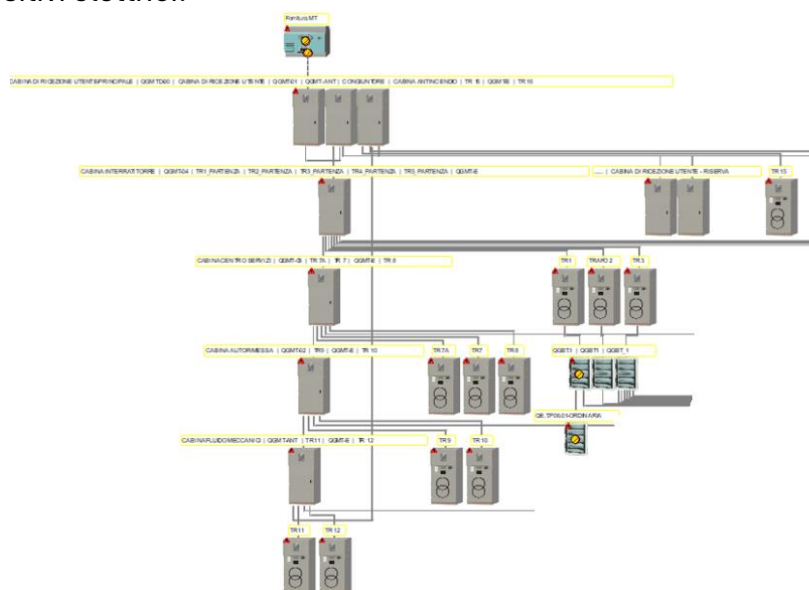


Figura 24: Distribuzione ad anello in MT su software Progetto Integra [24]

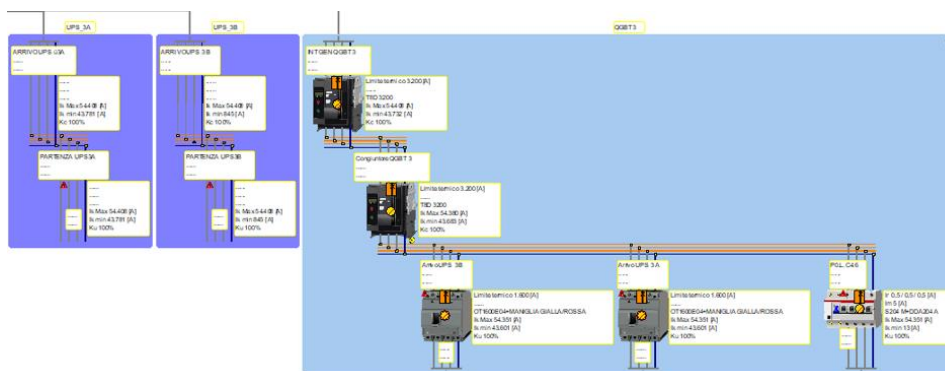


Figura 25: Vista dettagliata degli UPS 3A e 3B collegati al QGBT.3 [25]

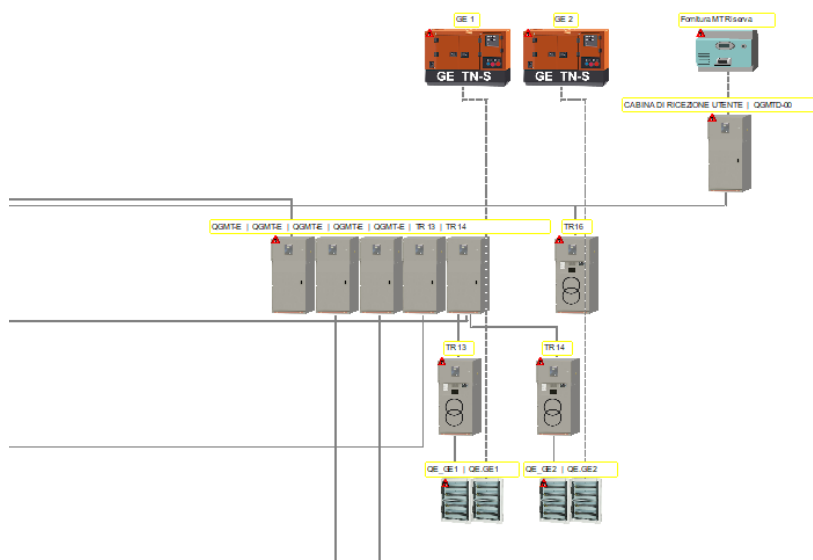


Figura 26: QGMT-E, GE e Fornitura secondaria – Progetto Integra [26]

Questa impostazione consente di visualizzare e controllare l'intero schema elettrico dell'edificio, mantenendo una chiara relazione tra le diverse sezioni dell'impianto e garantendo la coerenza tra i vari livelli di distribuzione.

Il software Integra, inoltre, permette di associare a ciascun elemento dell'impianto tutte le caratteristiche elettriche necessarie al calcolo e alla verifica, rendendolo uno strumento particolarmente efficace per la progettazione tecnica.

Nel caso studio analizzato, sono stati inseriti dati relativi a:

- potenze installate e di progetto;
- correnti di impiego;
- fattori di contemporaneità e di utilizzo;
- fattore di potenza ($\cos\phi$);
- tipologia e caratteristiche dei dispositivi di protezione;
- sezioni dei cavi, tipologia di posa e numero di conduttori;
- lunghezze delle linee e modalità di cablaggio.

L'inserimento puntuale di tali informazioni consente al software di restituire un quadro completo del comportamento elettrico dell'impianto, supportando il progettista nelle scelte di dimensionamento e nelle verifiche di sicurezza.

Integra permette in maniera agile e semplice di gestire anche i dispositivi di protezione, che possono essere associati a ciascuna linea e utenza.

Il software consente di definire interruttori automatici, dispositivi differenziali e altre protezioni, specificandone le caratteristiche nominali e funzionali.

In questo modo, è possibile verificare la corretta protezione delle linee e la selettività dell'impianto, aspetti fondamentali in un edificio ad alta complessità come il grattacielo in esame.

Nel contesto della presente tesi, Integra non è stato utilizzato esclusivamente come strumento di calcolo, ma come ambiente di sintesi delle informazioni impiantistiche, in grado di raccogliere e organizzare i dati tecnici dell'impianto elettrico.

La ricostruzione completa dello schema elettrico fino al piano 6 ha permesso di avere una visione organica del sistema, evidenziando le relazioni tra quadri, linee e utenze.

Inoltre, la struttura del software, basata su campi informativi e tabelle, risulta particolarmente compatibile con un approccio BIM-oriented.

I dati inseriti in Integra possono infatti essere messi in relazione con quelli presenti nel modello informativo sviluppato in Revit, favorendo coerenza, tracciabilità e integrazione tra modello geometrico e modello di calcolo con diversi metodi, in questa tesi, come già è stato accennato si svilupperà un metodo innovativo e semplice senza l'uso di licenze a pagamento con altri software.

In sintesi, il software Integra si configura come uno strumento efficace e flessibile per la progettazione degli impianti elettrici, in grado di gestire sistemi complessi e articolati come quello del Grattacielo della Regione Piemonte. Le sue funzionalità permettono di integrare calcolo, verifica e organizzazione delle informazioni, contribuendo a una progettazione più consapevole, strutturata e coerente con i principi della progettazione integrata e del Building Information Modeling.

3.3.2. Esigenze informative per la manutenzione

Nel ciclo di vita di un edificio complesso, quale la Torre del Grattacielo della Regione Piemonte, la fase di esercizio e manutenzione riveste un ruolo fondamentale, molto importante in termini di sicurezza, continuità di servizio, sostenibilità economica e durata delle prestazioni impiantistiche.

In questo contesto, la corretta gestione delle esigenze informative per la manutenzione assume un'importanza centrale, poiché consente di trasformare il progetto e il modello informativo in strumenti operativi a supporto delle attività di facility management.

Tradizionalmente, le informazioni necessarie alla manutenzione degli impianti sono spesso frammentate tra elaborati cartacei, schede tecniche, manuali d'uso e documentazione non strutturata.

L'approccio BIM consente, invece, di concentrare tali informazioni all'interno di un modello informativo unico e strutturato, nel quale ciascun oggetto diventa fondamentale per la gestione dei dati nel corso del tempo del progetto preso in considerazione.

Nel modello BIM sviluppato per il grattacielo, le esigenze informative per la manutenzione sono state considerate già in fase progettuale, con particolare attenzione agli impianti elettrici.

Ciò ha comportato l'inserimento, per ciascuna apparecchiatura e linea elettrica, non solo di informazioni geometriche, ma anche di dati alfanumerici funzionali alla gestione post-costruzione, come il codice Unique ID che permetterà l'interoperabilità tra i due programmi, e così da permettere di identificare i vari componenti ai quali associare piani di manutenzione, e creare dei nuovi cronoprogrammi.

Il modello non è quindi concepito esclusivamente come strumento di rappresentazione tridimensionale, ma come database nel quale ogni oggetto impiantistico è identificabile, localizzabile e associabile a informazioni manutentive specifiche.

Questo approccio risulta particolarmente rilevante in un edificio sviluppato in altezza e caratterizzato da una distribuzione impiantistica complessa, nella quale la rapidità di accesso alle informazioni è un fattore determinante.

Ritornando a ciò che è stato detto prima, per quanto riguarda gli impianti elettrici, le esigenze informative per la manutenzione si articolano su più livelli.

In primo luogo, è fondamentale garantire una chiara identificazione delle apparecchiature, attraverso codici univoci, denominazioni standardizzate e riferimenti ai quadri e alle linee di appartenenza.

Tali informazioni consentono di individuare rapidamente l'elemento oggetto di intervento all'interno del modello e dell'edificio reale; verrà utilizzato un codice Unique ID già presente, ma si potrebbe utilizzare, molto più semplicemente, la matricola del componente ad esempio.

A queste si affiancano informazioni di natura tecnica e funzionale, quali:

- caratteristiche nominali delle apparecchiature;
- tipologia di alimentazione e collegamento elettrico;
- dispositivi di protezione associati;
- dati relativi al cablaggio e alle sezioni dei conduttori.

Questi dati risultano essenziali per la pianificazione degli interventi manutentivi, per la verifica delle condizioni di sicurezza e per la gestione di eventuali guasti o modifiche impiantistiche.

Un aspetto centrale, inoltre, oltre alle esigenze informative per la manutenzione, riguarda i dati temporali e gestionali degli impianti, come anticipato prima, tutto ciò che è necessario per potere redigere dei piani di manutenzione.

Nel modello BIM, tali informazioni possono includere:

- data di installazione delle apparecchiature;
- vita utile stimata;
- frequenza degli interventi di manutenzione ordinaria;
- indicazioni per la manutenzione straordinaria;
- stato di esercizio dell'impianto.

L'integrazione di questi dati consente di passare da una manutenzione di tipo reattivo a una manutenzione programmata e, potenzialmente, preventiva, migliorando l'efficienza complessiva del sistema impiantistico.

Nel contesto della presente tesi, le esigenze informative per la manutenzione sono strettamente connesse all'integrazione tra il modello BIM sviluppato in Revit e il software di progettazione elettrica Integra.

I dati inseriti in Integra per il calcolo e il dimensionamento degli impianti rappresentano una base informativa preziosa che, opportunamente strutturata e trasferita nel modello BIM, può essere riutilizzata anche in fase di gestione.

Questa continuità informativa consente di evitare la perdita di dati tra la fase di progetto e quella di esercizio, garantendo che le informazioni realmente utili alla manutenzione siano già presenti nel modello as-built.

In tal modo, il modello BIM diventa uno strumento di supporto alle decisioni, capace di accompagnare l'edificio lungo l'intero ciclo di vita.

In un edificio come il Grattacielo della Regione Piemonte, caratterizzato da un'elevata concentrazione di impianti e da una complessità funzionale significativa, la corretta gestione delle esigenze informative per la manutenzione rappresenta un elemento chiave per la sostenibilità dell'opera.

Un modello informativo strutturato consente di ridurre i tempi di intervento, migliorare la sicurezza degli operatori, ottimizzare i costi di gestione e garantire la continuità dei servizi essenziali.

In conclusione, l'attenzione alle esigenze informative per la manutenzione non costituisce un aspetto accessorio del processo BIM, ma ne rappresenta uno degli obiettivi principali.

Attraverso la corretta definizione e gestione delle informazioni, il modello BIM si configura come un vero e proprio strumento di gestione dell'edificio, capace di supportare efficacemente le attività manutentive e di valorizzare il patrimonio informativo generato in fase di progettazione.

3.4. Analisi delle criticità di interoperabilità

Questo caso studio si è concentrato nello sviluppare un collegamento, o in gergo tecnico, si è sviluppata la creazione dell'interoperabilità tra due programmi Revit 2019 e Progetto Integra.

Quest'ultimo un software per la progettazione elettrica, già spiegato nel capitolo precedente.

Questa interoperabilità è utile, specialmente, per la progettazione elettrica in ambiente BIM, ed è stato applicato sul Grattacielo della Regione Piemonte, del quale era già presente il gemello digitale sul programma Revit 2019 che sfrutta, appunto, la tecnologia BIM.

Nel caso studio in esame era importante arrivare ad un flusso logico per far comunicare i due programmi, cosicché in un futuro, il tecnico che deve sviluppare un progetto elettrico, può sfruttare il software Progetto Integra, che dal punto di vista elettrico è molto intuitivo e facile da utilizzare, specialmente nel dimensionare le taglie degli interruttori, la sezione dei cavi...

Tutti questi dati, infine, potranno essere riportati in ambiente BIM, e quindi sul programma Revit 2019, dove è presente il gemello digitale del grattacielo.

Di conseguenza tutti i componenti, come interruttori, blindosbarre che sono già rappresentati sul modello, avranno tutte le caratteristiche che verranno importate da Progetto Integra.

Inoltre, le modifiche che verranno effettuate, a loro volta, su Revit 2019, potranno essere riportate nuovamente sul software elettrico, tramite un secondo flusso logico che, come si vedrà successivamente nella tesi, sfrutterà file CSV e Python.

La comunicazione, tra i due programmi è importante, perché permetterà, in caso ci fossero delle modifiche sulla linea elettrica, o in caso di manutenzione incidentale, ci fossero delle sostituzioni di componenti, esempio interruttori, si potrà in tempo reale andare a modificarlo sul programma Progetto Integra e poi importarli sul modello digitale.

L'obiettivo principale dell'adozione di un flusso interoperabile tra software impiantistici e piattaforme BIM è quello di ridurre il tempo di comunicazione tecnica tra gli operatori e di eliminare passaggi ridondanti di reinserimento manuale dei dati. Nel processo tradizionale, infatti, una modifica effettuata sul campo, come la modifica o sostituzione di un interruttore, deve essere prima comunicata all'ufficio

tecnico, successivamente inserita nel software elettrico dedicato e infine rimodellata nuovamente in Revit per riallineare il modello BIM.

Questa sequenza comporta un doppio trasferimento dell'informazione e un'ulteriore attività di modellazione, con inevitabili perdite di tempo e possibili errori di trascrizione.

Attraverso l'interoperabilità dei dati è invece possibile saltare uno di questi passaggi: la modifica registrata dall'operatore in un'unica piattaforma viene condivisa digitalmente e importata direttamente nel modello BIM, consentendo di unificare i flussi informativi e di evitare la duplicazione delle attività.

In tal modo si riesce concretamente a saltare uno step operativo, trasformando un processo sequenziale in un processo integrato e continuo.

L'interoperabilità si configura quindi come condizione necessaria per una gestione efficiente degli impianti elettrici tramite BIM e Digital Twin, poiché solo grazie a essa è possibile mantenere allineati nel tempo i diversi ambienti digitali che descrivono l'asset.

In prospettiva, questo approccio può essere ulteriormente sviluppato introducendo meccanismi di aggiornamento automatico del livello di dettaglio.

Un esempio applicativo è l'utilizzo di strumenti come Progetto INTEGRA, che permettono di trasformare le informazioni tecniche inserite nel gestionale elettrico in un contenuto immediatamente leggibile da Revit.

Grazie a tali connessioni, una modifica effettuata dal tecnico sul software impiantistico viene propagata direttamente nel modello BIM, evitando il passaggio intermedio di rimodellazione manuale e contribuendo a una reale evoluzione verso l'as-maintained digitale.

Un ulteriore livello di maturità è rappresentato dall'integrazione con il paradigma del Digital Twin.

In questo scenario, dopo aver effettuato una modifica progettuale sull'impianto elettrico, ad esempio all'interno di Progetto INTEGRA, l'informazione non solo aggiorna la documentazione tecnica, ma può generare automaticamente il corrispondente stato informativo dell'oggetto nel modello BIM.

La piattaforma consente quindi di aggiornare in modo automatico i LOD dei componenti elettrici, garantendo che il modello in Revit 2019 replichi immediatamente la modifica effettuata.

Guardando oltre, alcune ricerche e applicazioni industriali mostrano come sia possibile spingersi verso una logica ancora più avanzata: la modifica registrata nel software impiantistico crea direttamente e in modo automatico il livello LOD nel modello Revit 2019/2019, eliminando completamente l'intervento umano.

Questo significa che, una volta aggiornato il progetto elettrico, il sistema è in grado di generare automaticamente:

- geometria aggiornata dell'oggetto;
- attributi tecnici associati;
- stato informativo coerente con il livello di sviluppo richiesto (Revit 2019 automatic LOD creation).

Tale automazione consente di rendere continuo il collegamento tra realtà fisica, database elettrico e modello BIM, condizione essenziale affinché un Digital Twin possa funzionare efficacemente nella gestione manutentiva degli impianti.

Senza interoperabilità, infatti, il Digital Twin rimarrebbe isolato; con interoperabilità e processi automatici di propagazione dei LOD, diventa invece possibile una gestione predittiva e dinamica realmente efficiente.

Nel capitolo successivo ci si occuperà dell'interoperabilità tra i due software effettuato sul caso studio del grattacielo della regione Piemonte.

Il mezzo di comunicazione tra i due è bidirezionale, e verranno utilizzati come ausilio altri due programmi Python e Dynamo, integrato in Revit 2019.

I file che verranno utilizzati come mezzi di comunicazione tra Progetto Integra e Revit sono in formato .CSV.

Questi ultimi verranno aggiornati e modificati, così da poter far comunicare i due software.

4. Metodologia di integrazione INTEGRA-BIM

Nel contesto della progettazione impiantistica, l'interoperabilità tra strumenti di modellazione informativa e software di calcolo specialistici rappresenta un requisito fondamentale per garantire coerenza, continuità e affidabilità dei dati lungo il processo progettuale.

In tale prospettiva si colloca l'integrazione tra il modello BIM sviluppato in ambiente Revit e il software di progettazione elettrica Integra.

Revit, piattaforma BIM sviluppata da Autodesk, consente la creazione di modelli informativi tridimensionali nei quali ogni oggetto è associato a un insieme strutturato di dati geometrici e alfanumerici.

Integra, software per la progettazione elettrica sviluppato in ambiente Excel da EXEL, permette invece il calcolo, il dimensionamento e la verifica degli impianti elettrici attraverso una gestione tabellare dei circuiti, delle linee e delle apparecchiature.

L'interoperabilità tra i due ambienti non avviene mediante un collegamento diretto automatico, ma attraverso la coerenza e la strutturazione dei dati.

In particolare, l'utilizzo di parametri condivisi e abachi all'interno del modello BIM consente di organizzare le informazioni secondo una logica compatibile con quella adottata in Integra.

I dati estratti dal modello, quali identificativi delle linee, quadri di riferimento, caratteristiche elettriche e collegamenti, possono essere utilizzati come input nel software di calcolo, evitando ridondanze informative e riducendo il rischio di errori. Nel caso studio del Grattacielo della Regione Piemonte, questa interoperabilità ha permesso di mantenere una continuità informativa tra il modello BIM e lo schema elettrico ricostruito in Integra, favorendo un flusso di lavoro integrato tra rappresentazione geometrica e calcolo impiantistico.

Il modello BIM diventa così il riferimento spaziale e informativo, mentre Integra svolge il ruolo di strumento di verifica e validazione tecnica.

In conclusione, l'interoperabilità tra Revit e Integra non si basa esclusivamente su aspetti tecnologici, ma su una corretta impostazione metodologica del progetto.

La strutturazione dei dati, l'allineamento delle informazioni e la definizione chiara dei contenuti informativi consentono di integrare efficacemente modellazione e calcolo, rafforzando l'approccio BIM-oriented adottato nella presente tesi.

4.1. Processo di integrazione: workflow operativo

Il processo di integrazione tra il modello BIM sviluppato in ambiente Revit e il software di progettazione elettrica Integra è stato strutturato secondo un workflow operativo bidirezionale, capace di supportare sia la fase di progettazione sia le successive attività di aggiornamento, verifica e manutenzione dell'impianto elettrico. Tale impostazione consente di garantire continuità informativa tra modello geometrico e modello di calcolo, evitando la duplicazione dei dati e riducendo il rischio di incoerenze.

Il workflow adottato non prevede un flusso unidirezionale dei dati, ma consente di avviare il processo sia dal modello BIM in Revit sia dal software Integra, a seconda delle esigenze progettuali o gestionali.

Questa flessibilità risulta particolarmente rilevante nel caso di edifici complessi, come la Torre del Grattacielo della Regione Piemonte, nei quali le informazioni possono essere aggiornate sia a seguito di modifiche progettuali sia in risposta a verifiche tecniche o esigenze manutentive.

Nel caso in cui il processo abbia origine dal modello BIM, il workflow prevede innanzitutto la modifica dei parametri informativi direttamente in Revit, agendo sugli oggetti impiantistici e sulle apparecchiature elettriche.

Tali modifiche vengono immediatamente rese visibili attraverso gli abachi, che costituiscono lo strumento principale per il controllo e la verifica dei dati inseriti. Gli abachi aggiornati vengono successivamente esportati in formato testo (TXT) e convertiti in file CSV, formato maggiormente compatibile con le elaborazioni successive.

Attraverso uno script sviluppato in Python [Appendici B – Script Python per import CSV in Progetto Integra], i diversi abachi vengono combinati e riorganizzati in un unico file strutturato, conforme al formato richiesto per l'importazione all'interno del software Integra.

Questo passaggio consente di uniformare i dati provenienti dal modello BIM e di prepararli per il calcolo elettrico.

L'importazione in Integra avviene mantenendo come riferimento un codice univoco, condiviso tra i due ambienti software, che identifica in modo inequivocabile i vari interruttori, quadri e utilizzatori finali.

Tale codice rappresenta l'elemento chiave per la comparazione e l'allineamento delle informazioni tra Revit e Integra, garantendo la tracciabilità dei singoli componenti dell'impianto.

Una volta importati i dati in Integra, il progettista può intervenire con modifiche più specifiche e tecniche, tipicamente legate alla fase di calcolo e verifica dell'impianto elettrico.

Tra queste rientrano, ad esempio:

- la variazione della taglia degli interruttori;
- la modifica della polarità;
- la selezione del tipo di interruttore;
- il ricalcolo e il ridimensionamento dei cablaggi;
- l'aggiornamento dei dati a seguito di segnalazioni o criticità emerse in fase di manutenzione.

Integra consente quindi di operare come ambiente di validazione tecnica dell'impianto, nel quale le informazioni vengono raffinate e verificate rispetto ai requisiti normativi e prestazionali.

Una volta completate le modifiche in Integra, i dati aggiornati vengono esportati nuovamente in formato CSV. A questo punto, il workflow prevede il rientro delle informazioni nel modello BIM as-built sviluppato in Revit.

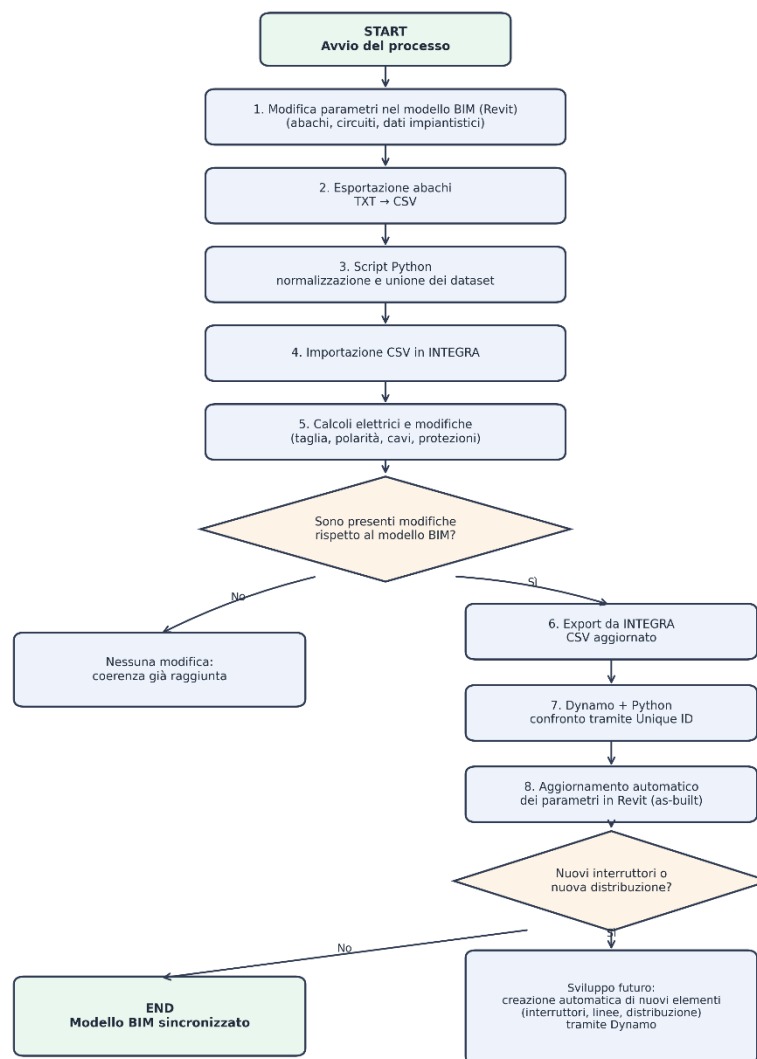
L'aggiornamento del modello avviene attraverso Dynamo, all'interno del quale è stato predisposto un diagramma di flusso dedicato.

Tale diagramma utilizza uno script in Python [Appendice A – Script Python per import CSV in Revit] per confrontare i dati esportati da Integra con quelli già presenti nel modello BIM.

Il programma è in grado di:

- individuare le modifiche intervenute;
- aggiornare i valori dei parametri esistenti;
- aggiungere nuove informazioni ove necessario.

Questo processo consente di mantenere il modello as-built costantemente allineato alle verifiche effettuate nel software di calcolo, trasformandolo in un contenitore informativo dinamico e aggiornabile.



Nota: il parametro Unique ID garantisce la corrispondenza tra interruttori e utilizzatori in entrambi i software.

Figura 27: Diagramma di flusso [27]

4.2. Mappatura dei dati tra Revit e INTEGRA

La mappatura dei dati tra il modello BIM sviluppato in ambiente Revit e il software di progettazione elettrica INTEGRA rappresenta un passaggio fondamentale per garantire la coerenza, la tracciabilità e la continuità informativa all'interno del processo progettuale.

In un contesto caratterizzato dall'utilizzo di strumenti software differenti, ciascuno con una propria struttura logica e informativa, la definizione di regole chiare di corrispondenza tra i dati diventa un requisito imprescindibile per consentire uno scambio efficace delle informazioni.

Nel caso studio del Grattacielo della Regione Piemonte, la mappatura dei dati non si limita a una semplice esportazione e importazione di file, ma si configura come un

vero e proprio sistema di allineamento informativo, capace di mettere in relazione oggetti BIM, circuiti elettrici e schede di calcolo.

La mappatura dei dati consiste nella definizione esplicita delle relazioni di corrispondenza tra i parametri presenti nel modello BIM e i campi informativi utilizzati dal software INTEGRA.

In altre parole, per ciascuna informazione rilevante ai fini della progettazione elettrica, viene stabilito:

- dove nasce il dato nel modello Revit;
- come viene esportato e riorganizzato;
- in quale campo specifico viene collocato all'interno di INTEGRA;
- come può essere successivamente reimportato nel modello BIM.

Questo approccio consente di evitare ambiguità interpretative e riduce il rischio di perdita o duplicazione delle informazioni, soprattutto in un impianto complesso articolato su più livelli di distribuzione.

L'elemento centrale che rende possibile la mappatura dei dati tra Revit e INTEGRA è il codice univoco, denominato Unique ID.

Tale codice è stato assegnato in modo sistematico a tutti gli interruttori e agli utilizzatori finali, costituendo il riferimento comune tra i due ambienti software.

Il Unique ID svolge una funzione di identificazione univoca e persistente, permettendo di riconoscere lo stesso elemento:

- nel modello BIM di Revit;
- negli abachi esportati;
- nei file intermedi in formato CSV;
- all'interno delle schede di INTEGRA.

Grazie a questo identificativo, ogni elemento dell'impianto elettrico mantiene la propria identità lungo l'intero flusso informativo, rendendo possibile il confronto diretto tra i dati presenti nei due sistemi, in poche parole i due software riescono a comunicare l'uno con l'altro senza perdere alcuna informazione, perché ad ogni Unique ID corrisponde un'informazione unica.

Nel modello BIM, i dati relativi a interruttori e utilizzatori finali sono organizzati tramite parametri condivisi e resi leggibili attraverso abachi dedicati.

Tra questi parametri rientrano informazioni identificative, tecniche e funzionali, tutte associate al Unique ID.

Gli abachi vengono esportati in formato testo e successivamente convertiti in file CSV.

Attraverso uno script in Python, tali file vengono riorganizzati e combinati in una struttura dati coerente con il formato richiesto da INTEGRA.

In questa fase, il Unique ID viene mantenuto come campo chiave, garantendo la continuità dell'identificazione degli elementi.

La mappatura consente quindi di tradurre la logica orientata agli oggetti del modello BIM in una logica orientata alle linee e ai circuiti, tipica del software di progettazione elettrica.

Una volta importati i dati in INTEGRA, il Unique ID permette di associare correttamente ciascun interruttore e ciascun utilizzatore alle rispettive schede di calcolo.

In questo ambiente, le informazioni possono essere integrate o modificate in modo più specifico, ad esempio intervenendo su:

- taglia e tipologia degli interruttori;
- polarità;
- caratteristiche dei dispositivi di protezione;
- dimensionamento dei cablaggi.

La presenza del codice univoco consente di mantenere il legame con il modello BIM di origine, evitando che le modifiche effettuate in INTEGRA perdano il riferimento all'oggetto reale modellato in Revit.

Nella foto sottostante alcuni dei parametri presenti sul file csv Integra, e come è strutturato il file.

Questo è il file chiave per far comunicare i due programmi.

Quadro di provenienza	Sigla linea di provenienza	Nome Quadro	Descrizione quadro	Prefisso quadro	Codice quadro	Tipo part	Sigla	Tipo utenza	Prefisso quadro	Tipo protezione	Tipo curva	Classe	Marca	Poli protezione	Sigla protezione	Corrente Differenziale	Taglia protezione
Fornitura MT		CABINA DI		QGMTC-01		0	QGMTC-01	QUADRO MT		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	QGMTC-00	NOUTENZA		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
CABINA DI RICEZIONE UTENTE-PRINCIPALE	QGMTC-00	CABINA DI RICEZIONE				0	QGMTC-00	QUADRO MT		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	QGMTC-01	NOUTENZA		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	QGMTC-ANT	NOUTENZA		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	CONGIUNTORE	NOUTENZA		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
CABINA DI RICEZIONE UTENTE	QGMTC-01	CABINA INTERRUPTI		QGMTC-01		0	CAB1	QUADRO MT		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	QGMTC-04	NOUTENZA		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	TR1 PARTENZA	QUADRO	48	50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	TR2 PARTENZA	QUADRO	46	50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	TR3 PARTENZA	QUADRO	44	50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	TR4 PARTENZA	QUADRO	42	50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	TR5 PARTENZA	QUADRO	40	50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	QGMTC-E	NOUTENZA		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
CABINA INTERRUPTI TORRE	QGMTC-04	CABINA CENTRO		QGMTC-04		0		QUADRO MT		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	QGMTC-03	NOUTENZA		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	TR 7A	QUADRO	95	50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	TR 7	QUADRO	96	50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	QGMTC-E	NOUTENZA		50/51/51N	N.C.			Tripolare			
						1	TR 8	QUADRO	97	50/51/51N	N.C.			Tripolare			

Figura 28: Parametri estratti da Progetto Integra [28]

Nel flusso bidirezionale adottato, i dati aggiornati in INTEGRA vengono esportati nuovamente in formato CSV.

Attraverso *Dynamo* e uno script Python dedicato, il sistema confronta i valori esportati con quelli già presenti nel modello *as-built* di Revit.

Il *Unique ID* viene utilizzato come chiave di confronto per:

- individuare l'elemento corrispondente nel modello BIM;
- verificare la presenza di variazioni;
- aggiornare o integrare i parametri informativi delle apparecchiature e dei dispositivi esistenti.

In questo modo, la mappatura dei dati garantisce che il modello BIM rimanga allineato alle verifiche e alle modifiche effettuate nel software di calcolo, preservando la coerenza informativa dell'intero sistema.

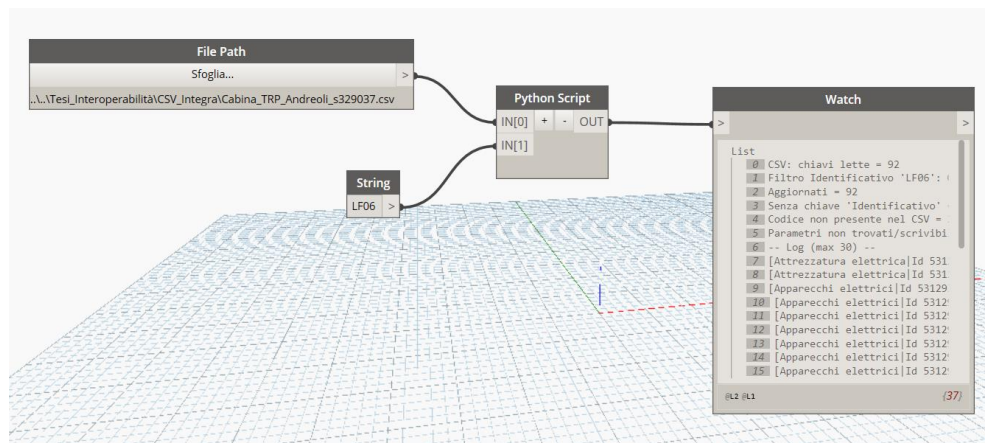


Figura 29: Schema a blocchi Dynamo [29]

4.3. Gestione dei formati di scambio dati (IFC, database)

Nel contesto del Building Information Modeling (BIM), la gestione dei formati di scambio dati rappresenta un aspetto centrale per garantire l'interoperabilità tra strumenti software differenti e la continuità informativa lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio.

In un processo progettuale che coinvolge modellazione, calcolo, verifica e gestione, la capacità di trasferire dati in modo strutturato, affidabile e riutilizzabile assume un valore strategico, soprattutto nel caso di edifici complessi e ad alta intensità impiantistica.

La gestione dei formati di scambio dati non riguarda esclusivamente il trasferimento della geometria tridimensionale, ma include l'insieme delle informazioni alfanumeriche, relazionali e documentali associate agli oggetti del modello.

In questa prospettiva, il BIM si configura come un sistema informativo aperto, nel quale i dati devono poter essere letti, interpretati e aggiornati anche al di fuori dell'ambiente software che li ha originariamente generati.

Uno dei principi fondanti dell'approccio BIM è l'adozione di formati aperti e neutrali, in grado di ridurre la dipendenza da software proprietari e di favorire la collaborazione tra i diversi attori del processo edilizio.

Tra questi, il formato IFC (Industry Foundation Classes) rappresenta lo standard internazionale più diffuso per lo scambio di modelli informativi tra piattaforme differenti.

L'IFC è uno schema dati aperto, sviluppato e mantenuto da buildingSMART International, che consente di descrivere in modo strutturato sia la geometria degli elementi edilizi sia le informazioni a essi associate.

A differenza dei formati nativi dei singoli software di authoring, il file IFC è pensato per essere interoperabile, leggibile e riutilizzabile nel tempo, indipendentemente dall'ambiente applicativo.

All'interno di un modello IFC possono essere inclusi:

- elementi architettonici, strutturali e impiantistici;
- proprietà tecniche e prestazionali;

- relazioni tra oggetti;
- informazioni di classificazione e identificazione.

Questo rende il formato IFC particolarmente adatto alla federazione dei modelli disciplinari e al coordinamento tra progettazione, costruzione e gestione dell'edificio.

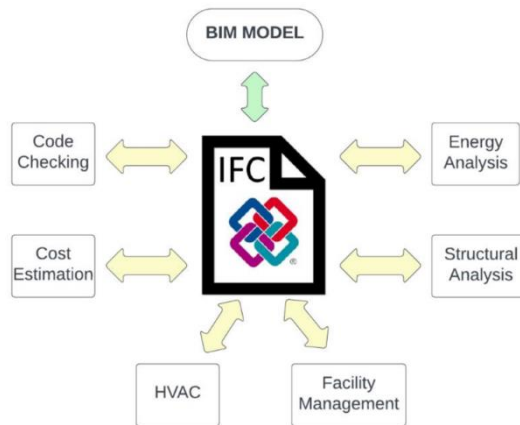


Figura 30: IFC [30]

Nonostante tutti questi vantaggi, il formato IFC non esaurisce tutte le esigenze di scambio dati in un processo BIM complesso.

In particolare, alcune informazioni di dettaglio, legate a calcoli specialistici o a specifiche logiche applicative, possono non essere pienamente rappresentabili o immediatamente utilizzabili tramite IFC.

Per questo motivo, accanto ai formati aperti di scambio dei modelli, vengono spesso utilizzati formati complementari, come file testuali strutturati (CSV, TXT) o sistemi di archiviazione basati su database.

Questi strumenti consentono una gestione più flessibile e mirata delle informazioni, soprattutto quando è necessario:

- estrarre grandi quantità di dati;
- confrontare valori numerici;
- aggiornare parametri in modo massivo;
- supportare flussi di lavoro automatizzati.

L'uso di database, sia relazionali sia orientati agli oggetti, rappresenta una possibile evoluzione della gestione dei dati BIM, in particolare nelle fasi di esercizio e manutenzione.

In questo contesto, il modello BIM può essere interpretato come una fonte primaria di dati, dalla quale estrarre informazioni da organizzare in strutture dati dedicate alla gestione operativa dell'edificio.

I database consentono di:

- interrogare rapidamente grandi moli di informazioni;
- mantenere uno storico delle modifiche;
- collegare i dati del modello a sistemi esterni, come software di gestione della manutenzione o piattaforme di monitoraggio;
- garantire coerenza e tracciabilità delle informazioni nel tempo.

Nel caso di flussi di lavoro avanzati, come quelli basati su script e automazioni, l'utilizzo di formati strutturati e di database diventa essenziale per supportare la bidirezionalità dello scambio informativo e l'aggiornamento continuo del modello. La corretta gestione dei formati di scambio dati non può essere considerata un aspetto secondario o meramente tecnico, ma costituisce una componente essenziale della strategia BIM.

La scelta dei formati, delle modalità di esportazione e delle strutture informative influenza direttamente la qualità del modello, la sua affidabilità e la sua capacità di supportare le diverse fasi del ciclo di vita dell'opera.

In un progetto complesso come quello del Grattacielo della Regione Piemonte, la gestione consapevole dei formati di scambio dati consente di:

- garantire interoperabilità tra modellazione e calcolo;
- preservare il valore informativo del modello;
- supportare processi di aggiornamento e manutenzione;
- favorire un utilizzo esteso del BIM oltre la fase progettuale.

Per questo progetto di tesi, infatti, scegliere quale formato permettesse di far comunicare in maniera efficace i due programmi, senza l'ausilio di programmi esterni, è stata la parte più complicata.

Alla fine, è stato scelto il .CSV che è il formato più universale, e il più semplice da utilizzare e da poter lavorarci sopra.

In conclusione, la gestione dei formati di scambio dati rappresenta uno dei pilastri del BIM contemporaneo.

L'integrazione tra formati aperti come l'IFC e strumenti di gestione strutturata dei dati, quali database e file tabellari, permette di costruire flussi informativi robusti, flessibili e orientati al ciclo di vita dell'edificio.

Questo approccio consente di valorizzare il modello BIM come infrastruttura informativa centrale, capace di dialogare con una pluralità di strumenti e di supportare efficacemente la complessità dei processi edilizi moderni.[27]

4.4. Sviluppo delle procedure di sincronizzazione

Nel contesto di un processo progettuale che coinvolge strumenti software differenti, la sincronizzazione delle informazioni rappresenta una delle principali criticità operative e metodologiche.

In particolare, nel caso dell'integrazione tra il modello BIM sviluppato in ambiente Revit e il software di progettazione elettrica INTEGRA, si è reso necessario definire e sviluppare procedure di sincronizzazione in grado di garantire la coerenza, la tracciabilità e l'aggiornamento continuo dei dati tra i due ambienti.

Per sincronizzazione si intende l'insieme delle regole, dei passaggi operativi e degli strumenti che consentono di mantenere allineate nel tempo le informazioni presenti in sistemi differenti, anche a fronte di modifiche successive.

Tale aspetto risulta particolarmente rilevante in un edificio complesso come il Grattacielo della Regione Piemonte, nel quale la progettazione elettrica e il modello informativo devono dialogare in modo costante e affidabile.

Lo sviluppo delle procedure di sincronizzazione ha preso avvio dall'analisi delle principali problematiche legate alla comunicazione tra i due software.

In primo luogo, Revit e INTEGRA utilizzano strutture dati e logiche operative differenti: il primo è orientato alla modellazione di oggetti BIM, mentre il secondo è strutturato secondo una logica tabellare basata su linee, circuiti e apparecchiature elettriche. Una seconda criticità è rappresentata dal formato di scambio dei dati.

L'assenza di un collegamento diretto nativo tra i due ambienti ha reso necessario individuare formati intermedi semplici, leggibili e modificabili, capaci di fungere da ponte informativo senza introdurre dipendenze da software terzi a pagamento.

Un ulteriore elemento critico riguarda la corrispondenza tra gli elementi: interruttori, quadri e utilizzatori presenti nel modello BIM devono essere riconosciuti in modo univoco all'interno del progetto elettrico sviluppato in INTEGRA.

Senza una chiara regola di identificazione, qualsiasi tentativo di aggiornamento automatico risulterebbe inefficace o potenzialmente errato.

Alla luce di tali criticità, le procedure di sincronizzazione sono state sviluppate seguendo alcuni principi fondamentali.

In primo luogo, è stata adottata una soluzione gratuita e accessibile, basata esclusivamente su strumenti largamente diffusi e privi di costi di licenza aggiuntivi, evitando l'utilizzo di software terzi proprietari per l'interscambio dei dati.

In secondo luogo, il processo è stato concepito come bidirezionale, consentendo sia l'aggiornamento dei dati dal modello BIM verso il software di calcolo, sia il rientro delle informazioni modificate in INTEGRA all'interno del modello as-built di Revit.

Questo approccio risulta particolarmente coerente con una visione del BIM orientata al ciclo di vita dell'opera e alle esigenze di manutenzione.

Infine, le procedure sono state progettate in modo da essere ripetibili e verificabili, riducendo al minimo le operazioni manuali e favorendo l'automazione dei controlli e degli aggiornamenti.

Per consentire la sincronizzazione dei dati, è stato individuato nel formato CSV lo strumento di scambio più adatto.

Tale formato, semplice e strutturato, consente di esportare i dati dal modello BIM, riorganizzarli e importarli in INTEGRA senza perdita di informazione, come già specificato in precedenza.

I file CSV rappresentano una fase intermedia del processo e vengono elaborati attraverso script in Python, che consentono di confrontare, combinare e validare i dati provenienti da più abachi di Revit.

Successivamente, gli stessi strumenti vengono utilizzati per analizzare i dati esportati da INTEGRA e predisporli per il reinserimento nel modello BIM.

L'utilizzo di Dynamo come ambiente di integrazione all'interno di Revit ha permesso di collegare gli script Python direttamente al modello informativo, rendendo il processo di aggiornamento più fluido e controllato.

Elemento centrale delle procedure di sincronizzazione è l'adozione di un parametro condiviso univoco che è il parametro Unique ID.

Tale parametro è stato assegnato a tutti gli interruttori, ai quadri e agli utilizzatori finali, ed è presente sia nel modello BIM sia nel progetto elettrico sviluppato in INTEGRA.

Il Unique ID, ripetendo ciò che è stato detto prima, consente di:

- identificare in modo inequivocabile ciascun elemento;
- stabilire la corrispondenza tra oggetti BIM e schede di calcolo;
- confrontare i dati esportati dai due ambienti;

- aggiornare selettivamente i parametri senza generare duplicazioni o sovrascritture indesiderate.

Grazie a questo identificativo, le procedure di sincronizzazione possono operare in modo automatico, individuando con precisione quali elementi sono stati modificati e quali valori devono essere aggiornati.

Le procedure sviluppate consentono di gestire in modo controllato le modifiche che avvengono nei due ambienti software.

Le variazioni introdotte nel modello BIM, ad esempio su parametri informativi o caratteristiche delle apparecchiature, possono essere trasferite in INTEGRA per le verifiche elettriche.

Allo stesso modo, le modifiche effettuate in INTEGRA, come il cambiamento della taglia degli interruttori o il ridimensionamento dei cablaggi, possono essere riportate nel modello as-built di Revit.

Questo processo di sincronizzazione garantisce che il modello BIM rimanga sempre coerente con il progetto elettrico aggiornato, rafforzando il ruolo del modello come riferimento informativo centrale.

Lo sviluppo delle procedure di sincronizzazione non rappresenta soltanto una soluzione tecnica a un problema operativo, ma costituisce un contributo metodologico significativo.

Il workflow adottato dimostra come sia possibile ottenere un elevato livello di integrazione tra modellazione BIM e progettazione elettrica utilizzando strumenti gratuiti e accessibili, senza ricorrere a piattaforme proprietarie dedicate all'interscambio dei dati.

In questo senso, il lavoro svolto si configura come un esempio replicabile e adattabile ad altri contesti progettuali, contribuendo a rendere l'approccio BIM più inclusivo e sostenibile anche dal punto di vista economico.

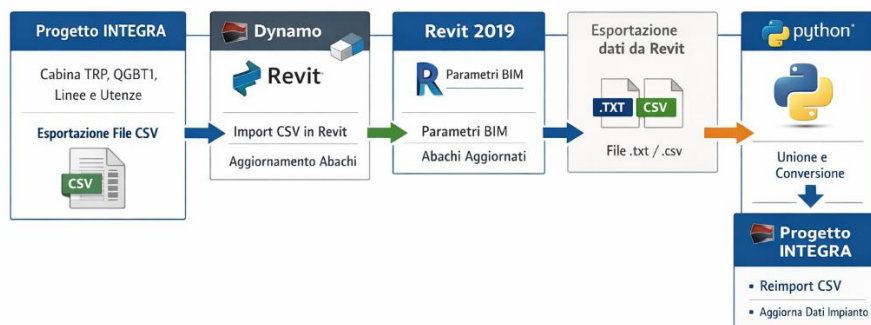


Figura 31: Workflow operativo [31]

Lo sviluppo delle procedure di sincronizzazione ha permesso di superare le principali criticità legate alla comunicazione tra Revit e INTEGRA, garantendo coerenza, tracciabilità e aggiornamento continuo delle informazioni.

L'adozione di formati di scambio semplici, di un parametro univoco condiviso e di strumenti di automazione ha reso possibile un flusso informativo bidirezionale solido, coerente con i principi del BIM e orientato al ciclo di vita dell'edificio.

Questo approccio valorizza il modello BIM come infrastruttura informativa centrale e dimostra come l'integrazione tra modellazione e calcolo possa essere raggiunta

anche attraverso soluzioni open e accessibili, in linea con gli obiettivi di una progettazione consapevole e sostenibile.

4.5. Implementazione sul caso studio

Il presente capitolo descrive l'implementazione concreta del metodo di integrazione e sincronizzazione dei dati tra modello BIM e software di progettazione elettrica, applicato al caso studio della Torre del Grattacielo della Regione Piemonte.

L'obiettivo è dimostrare come i principi metodologici illustrati nei capitoli precedenti siano stati tradotti in un flusso operativo reale, verificabile e replicabile, capace di gestire la complessità impiantistica di un edificio ad uso direzionale sviluppato in altezza.

L'implementazione sul caso studio è stata guidata da una serie di obiettivi specifici, definiti in coerenza con l'impostazione generale della tesi.

In particolare, si è inteso:

- verificare la fattibilità di un workflow BIM-oriented bidirezionale tra Revit e INTEGRA;
- garantire la coerenza informativa tra modello geometrico e progetto elettrico;
- supportare le attività di progettazione, verifica e manutenzione degli impianti elettrici;
- sviluppare una soluzione gratuita e accessibile, basata su strumenti diffusi e privi di costi di licenza aggiuntivi;
- valorizzare il modello as-built come contenitore informativo centrale lungo il ciclo di vita dell'edificio.

Il Grattacielo della Regione Piemonte rappresenta un caso studio particolarmente significativo per la sperimentazione del metodo proposto, in quanto caratterizzato da un'elevata complessità impiantistica, da una distribuzione verticale articolata e dalla presenza di numerosi sistemi di alimentazione e sicurezza.

L'implementazione si è concentrata sulla ricostruzione dello schema elettrico dell'edificio fino al piano 6, includendo:

- fornitura elettrica e quadri di media tensione;
- sistemi di alimentazione di emergenza, quali gruppi elettrogeni e UPS;
- quadri di distribuzione;
- interruttori e dispositivi di protezione;
- utenze finali, tra cui apparecchi di illuminazione e altri utilizzatori elettrici.

Il modello BIM sviluppato in ambiente Revit ha costituito il punto di partenza informativo del processo. All'interno del modello sono stati definiti:

- parametri condivisi dedicati agli impianti elettrici;
- abachi informativi per la gestione dei circuiti, delle apparecchiature e degli utilizzatori;
- un parametro univoco (Unique ID) assegnato a tutti gli interruttori e agli utilizzatori finali.

Questa struttura ha permesso di organizzare le informazioni in modo coerente e di predisporre il modello allo scambio dati con il software di progettazione elettrica.

A partire dai dati estratti dal modello BIM, è stato ricostruito in INTEGRA l'intero schema elettrico del caso studio.

Il software è stato utilizzato per inserire e verificare:

- le caratteristiche elettriche delle linee;
- il dimensionamento dei cablaggi;
- la tipologia e la taglia degli interruttori;
- le polarità e i sistemi di protezione.

L'importazione dei dati è avvenuta attraverso file intermedi in formato CSV, ottenuti dalla riorganizzazione degli abachi di Revit mediante script in Python.

Il Unique ID ha garantito la corretta associazione tra gli elementi del modello BIM e le corrispondenti entità presenti in INTEGRA.

Uno degli aspetti fondamentali dell'implementazione sul caso studio è stato lo sviluppo di un workflow bidirezionale, che consente di aggiornare i dati sia partendo dal modello BIM sia dal software di progettazione elettrica.

Le modifiche effettuate in INTEGRA, ad esempio a seguito di verifiche tecniche o di esigenze manutentive (variazione della taglia degli interruttori, ridimensionamento dei cablaggi, aggiornamento delle protezioni), vengono esportate in formato CSV e successivamente reintegrate nel modello as-built di Revit.

Questo processo avviene tramite Dynamo e script Python dedicati, che confrontano i dati sulla base del Unique ID e aggiornano selettivamente i parametri informativi.

Le modalità operative, gli esempi applicativi e i risultati ottenuti attraverso tale workflow verranno analizzati in modo più dettagliato nel capitolo successivo, dedicato all'approfondimento del caso studio.

L'implementazione sul caso studio ha consentito di verificare il raggiungimento degli obiettivi prefissati. In particolare:

- il modello BIM e il progetto elettrico risultano costantemente allineati;
- il flusso informativo è ripetibile e controllabile;
- le informazioni tecniche vengono preservate e valorizzate anche in ottica di manutenzione;
- il metodo adottato risulta scalabile e replicabile su altri edifici complessi;
- l'assenza di software terzi a pagamento rende la soluzione accessibile e sostenibile.

L'implementazione del metodo sul caso studio del Grattacielo della Regione Piemonte dimostra come sia possibile integrare efficacemente modellazione BIM e progettazione elettrica attraverso un approccio metodologico strutturato, fondato sulla gestione consapevole dei dati e sull'uso di strumenti open e diffusi.

Il caso studio non rappresenta quindi un semplice esempio applicativo, ma costituisce la validazione pratica di un processo che pone al centro il dato informativo, la sua tracciabilità e la sua evoluzione nel tempo, in linea con i principi del Building Information Modeling e con le esigenze di gestione degli edifici complessi.

5. Risultati e discussione

5.1. Risultati dell'integrazione realizzata

L'integrazione realizzata tra il modello BIM sviluppato in ambiente Revit e il software di progettazione elettrica INTEGRA ha prodotto una serie di risultati significativi, sia dal punto di vista operativo sia sotto il profilo metodologico.

Il caso studio del Grattacielo della Regione Piemonte ha consentito di testare il workflow proposto su un edificio complesso, verificando concretamente l'efficacia delle soluzioni adottate e la loro applicabilità in un contesto reale.

Il principale risultato ottenuto consiste nella realizzazione di un flusso informativo bidirezionale e coerente, capace di mantenere allineati nel tempo il modello BIM e il progetto elettrico, anche a fronte di modifiche successive.

Tale risultato assume particolare rilevanza considerando l'assenza di strumenti di interscambio dedicati e l'utilizzo esclusivo di soluzioni gratuite e accessibili.

Uno degli aspetti più rilevanti emersi dall'integrazione riguarda la coerenza informativa tra i due ambienti software.

L'introduzione del parametro Unique ID come identificativo univoco per interruttori, quadri e utilizzatori finali ha permesso di stabilire una corrispondenza stabile e affidabile tra gli elementi del modello BIM e le entità presenti in INTEGRA.

Grazie a questa scelta, è stato possibile:

- tracciare ogni componente dell'impianto elettrico lungo l'intero flusso informativo;
- confrontare in modo automatico i dati provenienti dai due sistemi;
- aggiornare selettivamente i parametri senza generare duplicazioni o incongruenze.

Il modello BIM as-built risulta pertanto non solo rappresentativo della configurazione geometrica dell'impianto, ma anche coerente con le verifiche e i calcoli effettuati nel software di progettazione elettrica.

L'implementazione del workflow bidirezionale ha dimostrato la possibilità di avviare il processo sia dal modello BIM sia dal software INTEGRA, ottenendo risultati consistenti in entrambi i casi.

Le modifiche introdotte in Revit, ad esempio su parametri informativi o caratteristiche delle apparecchiature, vengono correttamente trasferite in INTEGRA per le verifiche elettriche.

Allo stesso modo, le variazioni effettuate in INTEGRA, come il ridimensionamento dei cablaggi o la modifica della taglia degli interruttori, vengono riportate nel modello BIM in modo controllato.

Questo risultato evidenzia come il flusso informativo non sia statico, ma dinamico e aggiornabile, caratteristica fondamentale in un'ottica di gestione del ciclo di vita dell'edificio.

Un ulteriore risultato significativo riguarda la riduzione delle operazioni manuali nella gestione dei dati.

L'utilizzo di abachi strutturati, file CSV e script in Python ha consentito di automatizzare gran parte delle operazioni di confronto e aggiornamento delle informazioni, limitando l'intervento manuale ai soli controlli di validazione.

Questa automazione ha contribuito a:

- ridurre il rischio di errori di trascrizione;
- migliorare la qualità complessiva dei dati;
- aumentare l'efficienza del processo progettuale.

In un contesto complesso come quello del grattacielo, tali benefici risultano particolarmente evidenti, soprattutto in relazione alla gestione di un elevato numero di circuiti e utenze.

I risultati ottenuti dimostrano come il modello BIM possa essere valorizzato non solo come strumento di rappresentazione tridimensionale, ma come infrastruttura informativa centrale.

L'integrazione con INTEGRA consente infatti di arricchire il modello as-built con informazioni tecniche verificate, rendendolo idoneo a supportare anche le fasi successive di esercizio e manutenzione.

Il modello diventa così un riferimento affidabile per la consultazione dei dati impiantistici, facilitando la comprensione del sistema elettrico e la gestione delle eventuali modifiche nel tempo.

Un risultato di particolare rilievo è rappresentato dalla accessibilità della soluzione adottata.

Il workflow sviluppato utilizza esclusivamente strumenti gratuiti o già inclusi negli ambienti software di base (Revit, Excel, Python, Dynamo), senza ricorrere a piattaforme proprietarie dedicate allo scambio dati.

Questo aspetto rende il metodo:

- economicamente sostenibile;
- facilmente replicabile in altri contesti progettuali;
- adattabile a edifici di diversa tipologia e complessità.

La soluzione proposta si configura quindi come un contributo concreto alla diffusione di pratiche BIM avanzate anche in contesti in cui le risorse economiche e tecnologiche sono limitate.

In sintesi, i risultati dell'integrazione realizzata evidenziano:

- la fattibilità di un'integrazione efficace tra BIM e progettazione elettrica;
- la solidità del workflow bidirezionale sviluppato;
- il miglioramento della qualità e della coerenza dei dati;
- il valore del modello BIM come strumento operativo lungo il ciclo di vita dell'edificio;
- la possibilità di adottare soluzioni avanzate senza ricorrere a software aggiuntivi a pagamento.

Tali risultati costituiscono la base per la discussione critica sviluppata nel prosieguo del capitolo e confermano la validità dell'approccio metodologico adottato nel caso studio.

5.2. Vantaggi per la gestione manutentiva degli impianti elettrici

L'integrazione realizzata tra il modello BIM sviluppato in ambiente Revit e il software di progettazione elettrica INTEGRA evidenzia benefici rilevanti non solo in fase di progettazione e verifica, ma soprattutto nella gestione manutentiva degli impianti elettrici.

Nel caso studio del Grattacielo della Regione Piemonte, tali vantaggi risultano particolarmente significativi in considerazione della complessità dell'edificio, della distribuzione verticale degli impianti e della necessità di garantire continuità di servizio e sicurezza nel tempo.

Uno dei principali vantaggi emersi riguarda la centralizzazione delle informazioni all'interno del modello BIM as-built.

Grazie al workflow di integrazione e sincronizzazione, il modello contiene dati tecnici aggiornati e coerenti con il progetto elettrico verificato in INTEGRA, diventando un riferimento affidabile per le attività di manutenzione.

Per ogni quadro elettrico e per ciascun interruttore, il modello BIM consente di accedere a informazioni quali:

- identificativo univoco (Unique ID);
- quadro di appartenenza e linea associata;
- caratteristiche nominali;
- tipologia di protezione;
- collegamento elettrico con le utenze servite.

Questa disponibilità immediata di dati riduce significativamente i tempi di ricerca delle informazioni, aspetto cruciale in un edificio complesso come il grattacielo.

Nel caso della manutenzione ordinaria dei quadri elettrici, l'integrazione tra BIM e INTEGRA permette di pianificare e gestire gli interventi in modo più consapevole.

Ad esempio, un operatore incaricato di verificare periodicamente un quadro può utilizzare il modello BIM per:

- individuare rapidamente la posizione del quadro all'interno dell'edificio;
- conoscere le linee e le utenze alimentate;
- verificare le caratteristiche degli interruttori installati.

Qualora durante l'intervento emergano discrepanze tra la configurazione reale e i dati di progetto (ad esempio una sostituzione avvenuta in precedenza), tali modifiche possono essere registrate nel software INTEGRA e successivamente sincronizzate con il modello BIM, mantenendo aggiornato l'as-built.

Un esempio pratico particolarmente significativo riguarda la sostituzione di un interruttore a seguito di guasto, invecchiamento o adeguamento normativo.

In un contesto tradizionale, tale intervento comporta spesso l'aggiornamento manuale di documentazione frammentata e non sempre coerente.

Nel workflow sviluppato per il caso studio, invece, la modifica può essere gestita in modo strutturato:

- l'intervento viene registrato in INTEGRA, aggiornando taglia, tipologia o caratteristiche dell'interruttore;
- i dati aggiornati vengono esportati e sincronizzati con il modello BIM;
- il parametro Unique ID garantisce che l'aggiornamento venga applicato correttamente all'elemento corrispondente.

In questo modo, il modello BIM riflette fedelmente lo stato reale dell'impianto, diventando uno strumento di supporto affidabile per interventi futuri.

Un ulteriore vantaggio riguarda la gestione delle emergenze e delle anomalie impiantistiche.

In caso di malfunzionamento di una linea o di un dispositivo di protezione, la possibilità di interrogare il modello BIM consente di:

- identificare rapidamente il quadro e l'interruttore coinvolti;
- comprendere quali utenze risultano alimentate o disalimentate;
- valutare l'impatto dell'intervento sull'operatività dell'edificio.

Nel caso del Grattacielo della Regione Piemonte, caratterizzato da funzioni direzionali e da una presenza significativa di utenze critiche, questa capacità di lettura immediata del sistema elettrico rappresenta un valore aggiunto rilevante per la gestione della sicurezza e della continuità di servizio.

I risultati ottenuti dimostrano come l'integrazione tra BIM e INTEGRA favorisca una continuità informativa che si estende oltre la fase progettuale.

Le informazioni generate e verificate durante il progetto non vengono disperse, ma rimangono disponibili e aggiornabili nel tempo, supportando la gestione dell'impianto lungo tutto il suo ciclo di vita.

Questo approccio consente di passare da una manutenzione prevalentemente reattiva a una gestione più strutturata e programmata, nella quale il modello BIM funge da base informativa per decisioni tecniche e organizzative.

In sintesi, i principali vantaggi per la gestione manutentiva degli impianti elettrici emersi dal caso studio possono essere ricondotti a:

- maggiore rapidità di accesso alle informazioni tecniche;
- riduzione delle incertezze e delle incongruenze documentali;
- aggiornamento continuo del modello as-built;
- supporto concreto alle attività di manutenzione ordinaria e straordinaria;
- miglioramento della sicurezza e della continuità di servizio.

Tali risultati confermano come l'integrazione realizzata non rappresenti soltanto un esercizio progettuale, ma costituisca uno strumento operativo di elevato valore per la gestione degli impianti elettrici in edifici complessi, in linea con gli obiettivi del Building Information Modeling e con le esigenze di una manutenzione moderna ed efficiente.

5.3. Confronto con approcci tradizionali

Il confronto con i metodi tradizionali di progettazione e gestione degli impianti elettrici consente di valutare in modo critico i risultati ottenuti attraverso l'integrazione tra modello BIM e software di progettazione elettrica INTEGRA. Tale confronto risulta particolarmente significativo nel contesto del caso studio analizzato, caratterizzato da un'elevata complessità impiantistica e da esigenze manutentive rilevanti nel lungo periodo.

Nei metodi tradizionali, la progettazione degli impianti elettrici avviene generalmente attraverso una separazione netta tra:

- elaborati grafici bidimensionali (schemi, planimetrie, dettagli);
- software di calcolo elettrico utilizzati in modo autonomo;
- documentazione tecnica prodotta in forma cartacea o digitale non strutturata.

In questo approccio, il modello edilizio (quando presente) non è direttamente collegato al progetto elettrico, e le informazioni vengono aggiornate prevalentemente tramite operazioni manuali.

Eventuali modifiche apportate durante la progettazione o in fase di esercizio richiedono aggiornamenti paralleli su più supporti, con un elevato rischio di incoerenza tra disegni, schemi e dati di calcolo.

Nel caso di edifici complessi come il Grattacielo della Regione Piemonte, tale frammentazione informativa può comportare difficoltà significative nella gestione del progetto e, soprattutto, nella fase di manutenzione.

Uno dei principali limiti dei metodi tradizionali emerge nella gestione manutentiva degli impianti elettrici.

La documentazione as-built risulta spesso incompleta o non aggiornata rispetto allo stato reale dell'impianto, rendendo complessa l'individuazione delle caratteristiche effettive di quadri, interruttori e linee.

Ad esempio, per la sostituzione di un interruttore o la modifica di un cablaggio, come già è stato accennato precedentemente, può non essere immediatamente riflessa negli schemi originali, generando discrepanze tra la configurazione reale e la documentazione disponibile.

Questo aspetto comporta un aumento dei tempi di intervento, una maggiore esposizione al rischio di errore e una riduzione dell'efficacia delle attività manutentive.

L'approccio sviluppato nella presente tesi si discosta significativamente dai metodi tradizionali, introducendo un modello BIM informativo integrato con il software di progettazione elettrica.

Nel caso studio, il modello BIM non svolge un ruolo meramente rappresentativo, ma diventa il fulcro informativo dell'impianto elettrico.

Rispetto ai metodi tradizionali, l'integrazione tra Revit e INTEGRA consente:

- una coerenza continua tra modello e calcolo elettrico;
- la tracciabilità univoca degli elementi tramite il parametro Unique ID;
- un aggiornamento controllato e bidirezionale delle informazioni;
- una riduzione significativa delle operazioni manuali.

Nel contesto del grattacielo, questo approccio ha permesso di mantenere allineato il modello as-built con le verifiche elettriche effettuate in INTEGRA, superando uno dei principali limiti dei metodi tradizionali.

Dal punto di vista operativo, il metodo proposto offre vantaggi concreti rispetto agli approcci tradizionali.

La possibilità di interrogare il modello BIM per individuare rapidamente quadri, interruttori e utenze consente una gestione più efficiente degli interventi, riducendo i tempi di diagnosi e aumentando la sicurezza degli operatori.

Dal punto di vista gestionale, il modello BIM integrato favorisce una maggiore continuità informativa lungo il ciclo di vita dell'impianto.

Le informazioni prodotte in fase di progettazione e verifica non vengono disperse, ma rimangono disponibili e aggiornabili, supportando le attività di esercizio e manutenzione.

Il confronto con i metodi tradizionali evidenzia come l'approccio BIM integrato non rappresenti una semplice evoluzione tecnologica, ma un cambiamento metodologico.

Pur richiedendo una fase iniziale di impostazione più strutturata, il metodo adottato consente di superare molte delle criticità tipiche della gestione tradizionale degli impianti elettrici, soprattutto in edifici complessi.

Nel caso studio del Grattacielo della Regione Piemonte, i benefici in termini di coerenza, tracciabilità e supporto alla manutenzione risultano superiori rispetto ai metodi convenzionali, confermando la validità dell'approccio proposto e il suo potenziale impatto positivo sulla gestione degli impianti nel tempo.

5.4. Criticità riscontrate e soluzioni adottate

L'implementazione del workflow di integrazione tra il modello BIM sviluppato in ambiente Revit e il software di progettazione elettrica INTEGRA ha evidenziato una serie di criticità, tipiche dei processi che prevedono l'interazione tra strumenti software eterogenei e non nativamente interoperabili.

L'analisi di tali criticità e delle soluzioni adottate rappresenta un passaggio fondamentale per la valutazione complessiva dell'approccio proposto e per la sua possibile replicabilità in altri contesti progettuali.

Una delle prime criticità riscontrate riguarda la diversa natura dei due ambienti software.

Revit è un sistema di authoring BIM orientato agli oggetti, nel quale ogni elemento è descritto da una combinazione di geometria e parametri informativi.

INTEGRA, al contrario, è un software di progettazione elettrica strutturato secondo una logica tabellare, basata su linee, circuiti e dispositivi di protezione.

Questa differenza ha reso impossibile un collegamento diretto e automatico tra i due sistemi, imponendo la definizione di un livello intermedio di traduzione dei dati.

Per la soluzione che è stata adottata per completare questo lavoro di tesi, la criticità è stata affrontata attraverso la creazione di una struttura informativa comune, basata su parametri condivisi e abachi in Revit, in grado di restituire i dati secondo una logica compatibile con quella di INTEGRA.

In questo modo è stato possibile trasportare il modello orientato agli oggetti in una struttura orientata ai circuiti.

Un'ulteriore criticità riguarda l'assenza di un formato di scambio nativo specificamente pensato per il dialogo tra Revit e INTEGRA.

L'utilizzo di formati proprietari avrebbe comportato una dipendenza da strumenti esterni a pagamento, in contrasto con gli obiettivi della tesi.

A questa affermazione la soluzione adottata è stata individuata nel formato CSV, ovvero il compromesso più efficace tra semplicità, leggibilità e flessibilità.

I file CSV consentono di gestire grandi quantità di dati in modo strutturato e di essere facilmente elaborati tramite script, senza introdurre vincoli tecnologici o economici.

Una delle criticità più rilevanti riguarda la corrispondenza univoca tra gli elementi presenti nel modello BIM e quelli del progetto elettrico.

In assenza di un identificativo comune, risulta complesso stabilire quale interruttore o utilizzatore in Revit corrisponda a una specifica riga o scheda in INTEGRA.

A questa criticità, invece, è stato introdotto un codice univoco (Unique ID), assegnato sistematicamente a tutti gli interruttori e agli utilizzatori finali che potrebbe essere come è stato detto durante il corso di questa tesi, il modello, o la marca dell'interruttore, idem per i vari utilizzatori come le plafoniere.

Questo parametro è stato utilizzato come chiave primaria per:

- l'esportazione dei dati da Revit;
- l'importazione e la modifica delle informazioni in INTEGRA;
- la sincronizzazione di ritorno verso il modello as-built.

Il Unique ID ha consentito di garantire tracciabilità, coerenza e aggiornamento selettivo delle informazioni, riducendo drasticamente il rischio di errori.

Durante lo sviluppo del caso studio, è emersa la criticità legata alla gestione delle modifiche successive, tipica dei processi non integrati.

In particolare, il rischio principale era quello di generare disallineamenti tra modello BIM e progetto elettrico a seguito di aggiornamenti effettuati in uno solo dei due ambienti.

Per evitare di creare questi disallineamenti tra i due modelli è stato scelto, creato precisamente un workflow bidirezionale che ha permesso di affrontare questo problema in modo strutturato.

Le modifiche possono essere introdotte sia in Revit sia in INTEGRA, ma vengono sempre propagate all'altro ambiente attraverso procedure di esportazione, confronto e aggiornamento automatizzato basate su Python e Dynamo.

Questo approccio consente di mantenere il modello as-built costantemente coerente con lo stato del progetto elettrico.

Nel caso del Grattacielo della Regione Piemonte, il numero elevato di circuiti, quadri e utenze ha rappresentato una criticità in termini di gestione e controllo dei dati.

Un approccio manuale avrebbe comportato tempi elevati e un aumento significativo della probabilità di errore.

Anche in questo caso, per diminuire i tempi è stata progettata un'automazione affine, dalla quale vengono eseguite una serie di operazioni di confronto e aggiornamento tramite script Python che permette di gestire un elevato numero di dati in modo efficiente.

L'utilizzo di abachi strutturati e di procedure automatizzate ha migliorato la qualità dei dati e ridotto l'intervento manuale alle sole fasi di verifica e validazione.

Una criticità trasversale, affrontata fin dalle prime fasi del lavoro, riguarda la sostenibilità economica delle soluzioni di integrazione.

Molti flussi BIM avanzati prevedono l'uso di piattaforme di interscambio dedicate, spesso caratterizzate da costi elevati.

Ed infine, l'altra criticità, come appena detto, è stata trovare un metodo che non utilizzasse l'ausilio di programmi esterni che richiedessero licenze a pagamento. A questo il workflow sviluppato è stato costruito utilizzando esclusivamente strumenti gratuiti o già disponibili negli ambienti software utilizzati (Revit, Excel, Python, Dynamo).

Questa scelta ha permesso di realizzare una soluzione accessibile, replicabile e potenzialmente adottabile anche in contesti con risorse limitate, senza compromettere la qualità e l'affidabilità del processo.

L'analisi delle criticità riscontrate e delle soluzioni adottate evidenzia come il successo dell'integrazione non dipenda esclusivamente dagli strumenti utilizzati, ma soprattutto dalle scelte metodologiche operate nella strutturazione del workflow.

Le difficoltà incontrate nel caso studio del Grattacielo della Regione Piemonte hanno rappresentato un'occasione per sviluppare un processo robusto, flessibile e orientato alla gestione del ciclo di vita dell'impianto.

Le soluzioni adottate dimostrano come sia possibile affrontare criticità complesse attraverso un approccio consapevole, basato sulla gestione del dato, sulla tracciabilità delle informazioni e sull'automazione dei processi, confermando la validità e l'efficacia dell'approccio BIM integrato proposto nella presente tesi.

5.5. Analisi dei limiti della soluzione proposta

Nonostante i risultati positivi ottenuti dall'integrazione tra il modello BIM sviluppato in ambiente Revit e il software di progettazione elettrica INTEGRA, è necessario condurre un'analisi critica dei limiti della soluzione proposta, al fine di valutarne in modo realistico l'efficacia, le potenzialità e le prospettive di miglioramento.

Tale analisi risulta particolarmente rilevante in un contesto accademico, in quanto consente di collocare il lavoro svolto all'interno di un percorso evolutivo e non come soluzione definitiva o universalmente applicabile.

Un primo limite significativo riguarda la complessità complessiva del workflow.

La soluzione proposta richiede l'utilizzo coordinato di più strumenti software, tra cui Revit, INTEGRA, Excel, Python e Dynamo.

Sebbene ciascuno di questi strumenti sia gratuito o largamente diffuso, la loro combinazione comporta un aumento della complessità operativa e una maggiore richiesta di competenze interdisciplinari.

Dal punto di vista dell'utente finale, in particolare in ambito manutentivo, questa molteplicità di strumenti potrebbe rappresentare una barriera all'adozione del metodo, soprattutto in contesti nei quali il personale non possiede competenze avanzate in ambito BIM o di programmazione.

Un ulteriore limite rilevante è rappresentato dalla natura semiautomatica del processo di integrazione.

Sebbene molte operazioni siano state automatizzate tramite script Python e flussi Dynamo, il workflow richiede comunque una serie di interventi manuali, in particolare nelle fasi di:

- esportazione degli abachi da Revit;
- gestione dei file intermedi;
- controllo e validazione dei dati importati ed esportati.

Questo aspetto implica che il processo non sia completamente automatico e che l'efficacia della sincronizzazione dipenda anche dall'attenzione e dalla competenza dell'operatore.

Il rischio di errori operativi, seppur ridotto rispetto ai metodi tradizionali, non può essere completamente eliminato.

La soluzione proposta si basa sull'utilizzo di una serie di file intermedi (TXT, CSV) che fungono da ponte informativo tra i due ambienti software.

Sebbene tali formati garantiscano flessibilità e accessibilità, la loro gestione continua può rappresentare un limite in termini di:

- tracciabilità delle versioni;
- rischio di sovrascrittura o utilizzo di file non aggiornati;
- difficoltà nel controllo dello storico delle modifiche.

In assenza di un sistema centralizzato di gestione dei dati, come un database strutturato o una piattaforma di Common Data Environment (CDE), la continuità informativa si basa principalmente su procedure operative e buone pratiche, piuttosto che su un'infrastruttura tecnologica dedicata.

Il funzionamento dell'intero sistema di integrazione e sincronizzazione si fonda in modo determinante sull'utilizzo del parametro Unique ID.

Sebbene questa scelta abbia permesso di risolvere in modo efficace il problema della corrispondenza tra elementi, essa introduce anche una certa rigidità strutturale.

Eventuali errori nell'assegnazione del codice univoco, duplicazioni o modifiche non controllate potrebbero compromettere la corretta sincronizzazione dei dati.

Inoltre, la gestione del Unique ID richiede una disciplina rigorosa nella modellazione e nella manutenzione del modello BIM, che potrebbe non essere sempre garantita in contesti operativi reali e complessi.

Un ulteriore limite riguarda la scalabilità e la generalità della soluzione proposta.

Il workflow è stato sviluppato e testato su un caso studio specifico, relativo al Grattacielo della Regione Piemonte e limitato a una porzione dell'edificio (fino al piano 6).

Sebbene il metodo sia concettualmente replicabile, la sua applicazione a edifici di dimensioni maggiori, a contesti differenti o a impianti di diversa natura potrebbe richiedere adattamenti significativi.

In particolare, l'aumento esponenziale del numero di elementi impiantistici potrebbe rendere più complessa la gestione dei file intermedi e delle procedure di sincronizzazione, evidenziando la necessità di soluzioni più robuste e centralizzate.

Limiti legati all'assenza di un'integrazione nativa tra i software

La soluzione proposta nasce dalla necessità di colmare l'assenza di una integrazione nativa tra Revit e INTEGRA.

Questo limite strutturale dei software utilizzati ha reso necessario lo sviluppo di procedure personalizzate, che, pur efficaci, restano esterne e non ufficialmente supportate dagli ambienti software.

Ciò comporta una possibile fragilità del sistema nel lungo periodo, ad esempio in caso di aggiornamenti software, modifiche alle strutture dei dati o cambiamenti nei formati di esportazione.

L'analisi dei limiti evidenzia anche potenziali direzioni di sviluppo futuro.

Tra queste si possono annoverare:

- l'introduzione di un database centralizzato per la gestione dei dati impiantistici;
- la riduzione del numero di passaggi manuali attraverso ulteriori automatismi;
- lo sviluppo di interfacce dedicate per la gestione delle sincronizzazioni;
- l'integrazione del workflow all'interno di ambienti CDE;
- l'estensione del metodo a ulteriori discipline impiantistiche.

Questi sviluppi potrebbero contribuire a rendere la soluzione più robusta, scalabile e facilmente adottabile in contesti professionali strutturati.

In conclusione, la soluzione proposta presenta limiti chiari e riconoscibili, legati principalmente alla complessità del workflow, alla natura semiautomatica del processo e alla gestione dei dati intermedi.

Tuttavia, tali limiti non ne compromettono la validità, ma ne definiscono il perimetro applicativo e le possibilità di evoluzione.

L'approccio sviluppato dimostra come sia possibile ottenere un elevato livello di integrazione tra BIM e progettazione elettrica anche in assenza di strumenti dedicati, ponendo le basi per ulteriori sviluppi e miglioramenti.

In questo senso, i limiti individuati rappresentano non una debolezza del lavoro, ma un punto di partenza per future ricerche e applicazioni nel campo della gestione informativa degli impianti elettrici.



Figura 32: Studio proposto della tesi [32]

6. Conclusioni e sviluppi futuri

Il presente capitolo conclude il percorso di analisi e sperimentazione sviluppato nel corso della tesi, ponendo l'attenzione sui principali risultati raggiunti e sulle prospettive di evoluzione dell'approccio proposto.

Dopo aver affrontato il tema dell'integrazione tra modellazione BIM e progettazione elettrica attraverso un caso studio reale, il lavoro giunge a una fase di sintesi critica, nella quale vengono riconsiderati gli obiettivi iniziali, i risultati ottenuti e i limiti emersi.

Le conclusioni non si configurano come una semplice sintesi descrittiva, ma come un momento di riflessione sul valore metodologico e operativo del workflow sviluppato, valutandone l'efficacia nel contesto di un edificio complesso come il Grattacielo della Regione Piemonte.

In questa prospettiva, il capitolo intende evidenziare il contributo della tesi in termini di gestione informativa, integrazione dei dati e supporto alla manutenzione degli impianti elettrici, sottolineando al contempo le criticità che ne delimitano l'ambito di applicazione.

Parallelamente, vengono introdotti i possibili sviluppi futuri, intesi come evoluzione naturale del lavoro svolto.

Tali sviluppi riguardano sia il perfezionamento tecnico delle procedure di integrazione e sincronizzazione, sia l'estensione dell'approccio a contesti più ampi, ad altre discipline impiantistiche e a fasi avanzate del ciclo di vita dell'edificio.

In questo senso, il capitolo conclusivo si pone come ponte tra il lavoro svolto e le potenzialità ancora inesplorate, delineando scenari di ricerca e applicazione coerenti con i principi del Building Information Modeling e con le esigenze di una gestione sempre più consapevole e sostenibile del patrimonio edilizio.

6.1. Sintesi dei risultati ottenuti

Il lavoro di ricerca e sperimentazione sviluppato nella presente tesi ha consentito di raggiungere una serie di risultati rilevanti, sia sul piano operativo sia su quello metodologico, confermando la validità dell'approccio proposto per l'integrazione tra modellazione BIM e progettazione elettrica.

Attraverso l'applicazione del workflow al caso studio del Grattacielo della Regione Piemonte, è stato possibile verificare concretamente come la gestione strutturata dell'informazione rappresenti un elemento chiave per affrontare la complessità degli impianti elettrici in edifici di grandi dimensioni.

Il primo risultato significativo riguarda la realizzazione di un flusso informativo bidirezionale tra il modello BIM sviluppato in ambiente Revit e il software di progettazione elettrica INTEGRA.

Tale flusso ha permesso di superare la tradizionale separazione tra modello geometrico e calcolo impiantistico, consentendo uno scambio coerente e controllato delle informazioni.

La possibilità di avviare il processo sia dal modello BIM sia dal software di calcolo ha dimostrato la flessibilità del metodo e la sua adattabilità a differenti esigenze operative.

Un secondo risultato di rilievo è rappresentato dalla definizione e implementazione di una mappatura dei dati efficace, basata sull'introduzione di un parametro univoco (Unique ID).

Questo elemento ha consentito di garantire la tracciabilità degli interruttori, dei quadri e degli utilizzatori finali lungo l'intero processo, riducendo il rischio di incongruenze e permettendo aggiornamenti selettivi del modello as-built.

La stabilità di tale meccanismo di identificazione si è rivelata fondamentale per la sincronizzazione dei dati tra ambienti software eterogenei.

Dal punto di vista operativo, i risultati ottenuti evidenziano una riduzione delle operazioni manuali e un miglioramento della qualità complessiva delle informazioni.

L'uso di abachi strutturati, file intermedi in formato CSV e script di automazione ha reso possibile una gestione più efficiente di grandi quantità di dati, caratteristica essenziale in un edificio complesso come il grattacielo oggetto di studio.

Un ulteriore risultato riguarda la valorizzazione del modello BIM come strumento a supporto della gestione manutentiva.

L'integrazione con INTEGRA ha consentito di arricchire il modello as-built con informazioni tecniche verificate, rendendolo utilizzabile non solo in fase progettuale, ma anche come riferimento operativo per interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria sugli impianti elettrici.

In questo senso, il modello BIM si configura come un'infrastruttura informativa centrale, capace di accompagnare l'impianto lungo il suo ciclo di vita.

Infine, un risultato di particolare importanza riguarda la accessibilità della soluzione proposta.

Il workflow sviluppato si basa esclusivamente su strumenti gratuiti o già disponibili nei software utilizzati, senza ricorrere a piattaforme di interscambio a pagamento. Questo aspetto rende il metodo replicabile e potenzialmente adottabile anche in contesti professionali con risorse limitate, ampliando le possibilità di diffusione di pratiche BIM avanzate.

In sintesi, i risultati ottenuti dimostrano come l'approccio proposto sia in grado di migliorare la coerenza informativa, l'efficienza operativa e il supporto alla gestione degli impianti elettrici, confermando il valore del BIM non solo come strumento di modellazione, ma come metodo per la gestione integrata dell'informazione tecnica.

6.2. Contributi della tesi

La presente tesi fornisce una serie di contributi rilevanti nell'ambito dell'integrazione tra Building Information Modeling e progettazione degli impianti elettrici, con particolare riferimento alla gestione informativa e alla manutenzione degli edifici complessi.

Attraverso lo sviluppo e l'applicazione di un workflow operativo su un caso studio reale, il lavoro si colloca all'intersezione tra ricerca metodologica e applicazione pratica, offrendo spunti concreti per l'evoluzione delle pratiche BIM in ambito impiantistico.

Un primo contributo consiste nella definizione di un metodo di integrazione bidirezionale tra un modello BIM sviluppato in ambiente Revit e un software di progettazione elettrica non nativamente interoperabile.

A differenza di molti approcci presenti in letteratura, spesso basati su piattaforme dedicate o su soluzioni proprietarie, il metodo proposto dimostra come sia possibile ottenere un elevato livello di integrazione utilizzando strumenti gratuiti e largamente diffusi, rendendo il processo accessibile e replicabile.

Un secondo contributo significativo riguarda la strutturazione dell'informazione impiantistica all'interno del modello BIM.

L'introduzione di parametri condivisi e l'uso sistematico di abachi informativi hanno permesso di organizzare i dati elettrici in modo coerente con le esigenze del calcolo e della verifica tecnica.

In questo senso, la tesi contribuisce a chiarire il ruolo del modello BIM non solo come rappresentazione geometrica, ma come vero e proprio contenitore informativo orientato al ciclo di vita dell'impianto.

Particolarmente rilevante è il contributo legato all'adozione del parametro univoco (Unique ID) come chiave di collegamento tra ambienti software differenti.

Questa scelta ha consentito di risolvere una delle principali criticità dell'integrazione BIM-calcolo elettrico, ovvero la corrispondenza tra oggetti del modello e componenti del progetto elettrico.

Il Unique ID si configura come uno strumento semplice ma efficace per garantire tracciabilità, coerenza e aggiornamento selettivo delle informazioni.

Un ulteriore contributo è rappresentato dalla applicazione del metodo a un edificio complesso reale, quale il Grattacielo della Regione Piemonte.

L'utilizzo di un caso studio concreto ha permesso di validare il workflow in un contesto caratterizzato da elevata complessità impiantistica, dimostrando la robustezza dell'approccio e la sua capacità di gestire un numero significativo di circuiti, quadri e utenze.

Dal punto di vista gestionale, la tesi offre un contributo significativo alla manutenzione degli impianti elettrici, evidenziando come l'integrazione tra BIM e software di progettazione possa supportare attività operative quali la sostituzione di interruttori, la verifica dei quadri e la gestione delle emergenze.

In questo senso, il lavoro si inserisce nel dibattito sull'estensione del BIM oltre la fase progettuale, contribuendo alla definizione di modelli as-built realmente utilizzabili in fase di esercizio.

Infine, la tesi contribuisce a una riflessione critica sui limiti delle soluzioni attualmente disponibili, proponendo un approccio alternativo che, pur non privo di criticità, apre la strada a futuri sviluppi in termini di automazione, interoperabilità e gestione centralizzata dei dati.

Il valore del contributo non risiede soltanto nella soluzione tecnica adottata, ma nella dimostrazione che anche strumenti semplici, se correttamente integrati, possono generare processi BIM avanzati e orientati al ciclo di vita dell'edificio.

6.3. Proposte per sviluppi futuri

L'approccio metodologico sviluppato nella presente tesi ha dimostrato la fattibilità e l'efficacia di un'integrazione tra modello BIM e progettazione elettrica attraverso strumenti accessibili e non proprietari.

Tuttavia, come emerso dall'analisi dei limiti della soluzione proposta, il workflow implementato rappresenta un primo livello di maturità del processo e può essere ulteriormente sviluppato e perfezionato.

In questa prospettiva, il presente capitolo propone una serie di sviluppi futuri finalizzati a migliorare il grado di automazione, la qualità informativa del modello e il supporto alle attività di gestione e manutenzione degli impianti elettrici.

Uno degli sviluppi futuri più rilevanti riguarda l'automazione completa delle modifiche strutturali provenienti da INTEGRA verso il modello BIM.

Nel workflow attuale, le variazioni di tipo informativo (ad esempio taglia degli interruttori, caratteristiche elettriche o cablaggi) vengono correttamente sincronizzate con il modello as-built.

Tuttavia, le modifiche di tipo "strutturale", come l'aggiunta di un nuovo interruttore o la variazione della distribuzione dei circuiti all'interno di un quadro, richiedono ancora un intervento manuale in Revit.

Un possibile sviluppo consiste nell'implementazione di un sistema di riconoscimento automatico delle differenze tra il progetto elettrico aggiornato in INTEGRA e lo stato corrente del modello BIM.

Attraverso l'uso combinato di Dynamo e script Python, sarebbe possibile:

- individuare la presenza di nuovi interruttori o dispositivi non ancora modellati;
- generare automaticamente i corrispondenti elementi nel modello BIM;
- assegnare loro parametri, Unique ID e relazioni di appartenenza al quadro corretto.

In questo scenario, l'importazione dei dati da INTEGRA non si limiterebbe all'aggiornamento dei parametri, ma consentirebbe una ricostruzione dinamica della configurazione impiantistica, riducendo ulteriormente l'intervento manuale e aumentando l'affidabilità del modello.

Un ulteriore sviluppo riguarda la rifinizione della struttura degli abachi informativi all'interno del modello BIM.

Nel lavoro svolto, gli abachi sono stati utilizzati principalmente come strumento di estrazione e scambio dati.

Tuttavia, essi potrebbero assumere un ruolo ancora più strategico, soprattutto in ottica manutentiva.

In particolare, si propone la creazione di:

- un abaco dedicato ai quadri elettrici, contenente informazioni specifiche su posizione, alimentazione, utenze servite, tipologia e stato manutentivo;
- un abaco dedicato agli interruttori, separato da quello dei circuiti, nel quale siano chiaramente evidenziate le caratteristiche nominali, la funzione, la data di installazione e le eventuali criticità riscontrate.

Questa specializzazione consentirebbe una lettura più immediata del sistema elettrico e renderebbe il modello BIM uno strumento ancora più efficace per la pianificazione e l'esecuzione degli interventi manutentivi.

Introduzione di logiche di manutenzione programmata e storicizzazione degli interventi

Un ulteriore sviluppo futuro potrebbe riguardare l'integrazione di logiche di manutenzione programmata all'interno del modello BIM.

Attraverso l'estensione dei parametri informativi, sarebbe possibile associare a quadri e interruttori:

- scadenze di manutenzione;
- tipologia di intervento previsto;
- esito degli interventi effettuati;
- storico delle modifiche e delle sostituzioni.

In questo modo, il modello BIM potrebbe evolvere da semplice contenitore informativo a strumento attivo di supporto alla gestione manutentiva, avvicinandosi alle logiche del facility management e rafforzando ulteriormente il valore dell'integrazione proposta.

Un limite emerso nel lavoro riguarda la gestione dei file intermedi e l'assenza di un sistema centralizzato di controllo delle informazioni.

Uno sviluppo futuro naturale consiste nell'integrazione del workflow con un database strutturato o con un ambiente di condivisione dati (Common Data Environment), che consenta di:

- gestire versioni e revisioni dei dati;
- tracciare le modifiche nel tempo;
- ridurre il rischio di utilizzo di file non aggiornati.

Tale evoluzione permetterebbe di aumentare la robustezza del processo e di renderlo più adatto a contesti professionali complessi e collaborativi.

Sebbene il lavoro si sia concentrato sugli impianti elettrici, il metodo sviluppato potrebbe essere esteso ad altre discipline impiantistiche, quali impianti meccanici o speciali.

L'adozione di parametri univoci, abachi strutturati e flussi di sincronizzazione potrebbe rappresentare una base comune per una gestione integrata dell'intero sistema impiantistico dell'edificio.

Questa estensione favorirebbe una visione ancora più completa del modello BIM come infrastruttura informativa globale, in linea con i principi dell'approccio multidisciplinare del Building Information Modeling.

Le proposte di sviluppo illustrate evidenziano come il lavoro svolto non rappresenti un punto di arrivo, ma un punto di partenza per ulteriori evoluzioni metodologiche e operative.

L'incremento del grado di automazione, il miglioramento della struttura informativa e l'estensione del metodo a nuovi ambiti applicativi costituiscono direzioni di ricerca coerenti con gli obiettivi della tesi e con le esigenze del settore.

In questa prospettiva, il workflow sviluppato può essere interpretato come una piattaforma aperta e adattabile, capace di evolvere nel tempo e di supportare una gestione sempre più efficiente, consapevole e sostenibile degli impianti elettrici in edifici complessi.

Bibliografia

- [1]** Revolti, A., et al. (2024). From building information modeling to construction digital twin: A conceptual framework.
- [2]** Liu, W., et al. (2024). A systematic review of the Digital Twin technology in buildings.
- [3]** Mousavi, Y., et al. (2024). Digital Twin technology in the built environment: A review.
- [4]** Elshabshiri, A., et al. (2024). Integration of Building Information Modeling and Digital Twin.
- [5]** Baghdadi, A., et al. (2025). A comprehensive review of digital twin implementation in...
- [6]** ISO. (2018–). ISO 19650 series: Information management using building information modelling.
- [7]** ISO. (2021). ISO 23247-1: Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing.
- [8]** Pregno, D. (anno). Prova finale – Davide Pregno.
- [9]** Elshabshiri, A., et al. (2024). Bibliometric and systematic review on BIM–DT integration with focus on Operation & Maintenance (O&M) and research gaps. ScienceDirect.
- [10]** Wei, X., et al. (2025). Maintenance 4.0 and Digital Twin integration for condition-based and predictive maintenance: A review. Building and Environment.
- [11]** Liu, W., et al. (2024). Digital Twins in the built environment: A systematic literature review (2018–2024). Buildings (MDPI).
- [12]** Revolti, A., et al. (2024). From BIM to Construction Digital Twin: A conceptual framework with implications for FM/O&M. Taylor & Francis.
- [13]** Shin, Y., et al. (2022). Using COBie to structure maintenance data from BIM for FM/CMMS integration. Applied Sciences (MDPI).
- [14]** ISO. (2020). ISO 19650-3: Information management using building information modelling – Part 3: Operational phase.
- [15]** Centre for Digital Built Britain. (anno). Asset Information Requirements (AIR) Guidance.
- [16]** Yan, J., et al. (2025). Development and implementation of a system for electrical engineering design in BIM.
- [17]** Revizto. (2025). BIM for Electrical Engineering. <https://revizto.com/>
- [18]** UNI / EN / ISO. (2018–). UNI EN ISO 19650 series – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works.
- [19]** UNI. (2017–2022). UNI 11337 – Edilizia e opere di ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni.
- [20]** Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2017). D.M. 560/2017 – Introduzione dell’obbligo BIM negli appalti pubblici.
- [21]** Repubblica Italiana. (2023). Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 36/2023).
- [22]** EU BIM Task Group. (2017). Handbook for the introduction of BIM by the European public sector.

- [23]** buildingSMART International. (2018). Industry Foundation Classes (IFC) – ISO 16739. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>
- [24]** Wikipedia. (s.d.). Industry Foundation Classes. <https://en.wikipedia.org/>
- [25]** Revizto. (s.d.). What is interoperability in BIM? <https://revizto.com/en/what-is-interoperability-in-bim/>
- [26]** Datumate. (s.d.). OpenBIM standards in construction. <https://www.datumate.com/blog/openbim-standards-in-construction/>
- [27]** ISO. (2018). ISO 16739-1:2018 — Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema. Geneva: ISO.

Appendice A – Script Python per import CSV in Revit

```
1  # Dynamo IronPython - Import CSV -> Revit (tutti gli abachi/categorie)
2  # Match Revit[Identificativo] = CSV[Nota]
3  # Scrive anche 0/"0 W"; Lunghezza/Power: testo se il parametro è String,
4  # numerico (m->ft) se Double/Integer
5
6  import clr, re
7
8  # Revit
9  clr.AddReference('RevitAPI')
10  clr.AddReference('RevitServices')
11  from Autodesk.Revit.DB import FilteredElementCollector, StorageType,
12  Transaction
13  from RevitServices.Persistence import DocumentManager
14
15  doc = DocumentManager.Instance.CurrentDBDocument
16
17  # ----- INPUT -----
18  csv_path = IN[0]
19  uid_filter = (IN[1] or "").strip() # es: "LF06" oppure ""
20
21  # ----- CONFIG -----
22  REVIT_KEY_PARAM = u"Identificativo" # parametro chiave in Revit
23  CSV_KEY_COL = u"descrizione 2" # colonna chiave nel CSV
24  WRITE_UNIQUE_ID = True # se True, scrive anche "Unique ID" (se
25  # presente e scrivibile)
26
27  # Nomi che non vogliamo mai toccare (tranne Unique ID se flag True)
28  NEVER_TOUCH = set([u"Identificativo", u"descrizione 2"]) if not WRITE_UNIQUE_ID
29  else set([u"Identificativo", u"Nota"])
30
31  # Mappature: alias CSV -> possibili nomi di parametro in Revit (istanza poi
32  # tipo)
33  SPECS = [
34      # Nome quadro
35      ([u"Nome Quadro", u"Nome quadro", u"Nome\u00A0Quadro"],
36       [u"Nome Quadro", u"Nome quadro", u"Nome\u00A0Quadro"]),
37
38      # Unique ID (opzionale)
39      ([u"Unique ID", u"Unique\u00A0ID"],
40       [u"Unique ID", u"Unique\u00A0ID"]),
41
42      # Sigla
43      ([u"Sigla"], [u"Sigla"]),
44
45      # Lunghezza [m]
46      ([u"Lunghezza [m]", u"Lunghezza\u00A0[m]"],
47       [u"Lunghezza [m]", u"Lunghezza\u00A0[m]"]),
48
49      # Potenza [W]
50      ([u"Potenza [W]", u"Potenza\u00A0[W]"],
51       [u"Potenza [W]", u"Potenza\u00A0[W]"]),
52
53      # Tipo partenza
54      ([u"Tipo partenza", u"Tipo Partenza", u"Tipo\u00A0partenza"],
55       [u"Tipo partenza", u"Tipo Partenza", u"Tipo\u00A0partenza"]),
56
```

```

57     # Poli protezione
58     ([u"Poli protezione", u"Poli Protezione", u"Poli\u00A0protezione"],
59      [u"Poli protezione", u"Poli Protezione", u"Poli\u00A0protezione"]),
60
61     # Tipo protezione
62     ([u"Tipo protezione", u"Tipo Protezione", u"Tipo\u00A0protezione"],
63      [u"Tipo protezione", u"Tipo Protezione", u"Tipo\u00A0protezione"]),
64
65     # descrizione 1
66     ([u"descrizione 1", u"Descrizione 1", u"descrizione\u00A01"],
67      [u"descrizione 1", u"Descrizione 1", u"descrizione\u00A01"]),
68
69     # descrizione 1
70     ([u"descrizione 2", u"Descrizione 2", u"descrizione\u00A02"],
71      [u"descrizione 2", u"Descrizione 2", u"descrizione\u00A02"]),
72 ]
73
74 # ----- Utils -----
75 def norm(s):
76     if s is None: return u""
77     try: t = unicode(s)
78     except: t = str(s).decode('utf-8', 'ignore')
79     t = t.replace(u"\x00", u "").replace(u"\u00A0", u" ") # NBSP -> spazio
80 normale
81     t = t.strip()
82     return re.sub(ur"\s+", u" ", t)
83
84 def canon(s): return norm(s).lower().replace(u" ", u "")
85
86 def try_number(s):
87     t = norm(s)
88     if t == u"": return None
89     # accetta "0", "0 W", "15,3 m", "15.3"
90     t = re.sub(ur"^[^0-9,\\.\\-]", u "", t)
91     for cand in (t, t.replace(u",", u".")):
92         try:
93             if u"." in cand: return float(cand)
94             return int(cand)
95         except: pass
96     return None
97
98 def m_to_ft(x): return float(x) * 3.280839895
99
100 def read_text_any_encoding(path):
101     from System.IO import File, FileMode, FileAccess, FileShare, FileStream,
102     StreamReader
103     from System.Text import Encoding
104     b = File.ReadAllBytes(path)
105     for enc in [Encoding.UTF8, Encoding.Unicode, Encoding.BigEndianUnicode,
106     Encoding.UTF32]:
107         try:
108             txt = enc.GetString(b)
109             if txt: return txt
110         except: pass
111     fs = FileStream(path, FileMode.Open, FileAccess.Read, FileShare.ReadWrite)
112     sr = StreamReader(fs, Encoding.UTF8, True)
113     txt = sr.ReadToEnd(); sr.Close(); fs.Close()
114     return txt
115

```

```

116 def read_csv_robust(path):
117     txt = read_text_any_encoding(path).replace(u"\x00", u"")
118     lines = [l for l in
119 txt.replace(u"\r\n", u"\n").replace(u"\r", u"\n").split(u"\n") if l.strip()]
120     if not lines: return [], []
121     head = lines[0]
122     sep = max([(head.count(u";"), u";"), (head.count(u","), u","),
123 (head.count(u"\t"), u"\t"))][1]
124     headers = [norm(h) for h in head.split(sep)]
125     rows=[]
126     for line in lines[1:]:
127         parts = [norm(p) for p in line.split(sep)]
128         if len(parts)<len(headers): parts += [u""]*(len(headers)-len(parts))
129         elif len(parts)>len(headers): parts = parts[:len(headers)]
130         rows.append(dict(zip(headers, parts)))
131     return headers, rows
132
133 def find_header(headers, aliases):
134     H = dict((canon(h), h) for h in headers)
135     for n in aliases:
136         h = H.get(canon(n))
137         if h: return h
138     return None
139
140 def get_param_inst_or_type(el, name):
141     p = el.LookupParameter(name)
142     if p: return p
143     if hasattr(el, "Symbol") and el.Symbol:
144         return el.Symbol.LookupParameter(name)
145     return None
146
147 def find_writable_param(el, name_list):
148     # istanza per nome
149     for nm in name_list:
150         p = el.LookupParameter(nm)
151         if p and not p.IsReadOnly: return p, "INSTANCE"
152     # tipo per nome
153     if hasattr(el, "Symbol") and el.Symbol:
154         for nm in name_list:
155             p = el.Symbol.LookupParameter(nm)
156             if p and not p.IsReadOnly: return p, "TYPE"
157     # fallback: confronta nomi normalizzati
158     targets = set(canon(nm) for nm in name_list)
159     try:
160         for prm in el.Parameters:
161             try:
162                 if not prm.IsReadOnly and canon(prm.Definition.Name) in
163 targets:
164                     return prm, "INSTANCE"
165             except: pass
166     except: pass
167     if hasattr(el, "Symbol") and el.Symbol:
168         try:
169             for prm in el.Symbol.Parameters:
170                 try:
171                     if not prm.IsReadOnly and canon(prm.Definition.Name) in
172 targets:
173                         return prm, "TYPE"
174                 except: pass

```

```

175         except: pass
176         return None, None
177
178     # ----- Leggi CSV + mappe -----
179     headers, rows = read_csv_robust(csv_path)
180     if not rows: raise Exception("CSV vuoto o non leggibile.")
181
182     csv_key_header = find_header(headers, [CSV_KEY_COL, u"Identificativo", u"Unique
183 ID", u"UID", u"descrizione 2"])
184     if not csv_key_header:
185         raise Exception(u"Manca la colonna chiave (es. 'Nota'). Intestazioni:
186 {}".format(headers))
187
188     # header effettivi CSV -> possibili nomi parametro Revit
189     csv_col_to_revit_params = {}
190     for csv_aliases, revit_names in SPECS:
191         h = find_header(headers, csv_aliases)
192         if h:
193             csv_col_to_revit_params[h] = revit_names
194
195     # dizionario UID -> riga CSV
196     csv_by_uid = {}
197     for r in rows:
198         uid = norm(r.get(csv_key_header, u""))
199         if uid:
200             csv_by_uid[uid] = r
201
202     # ----- Scrittura -----
203     elems = list(FilteredElementCollector(doc).WhereElementIsNotElementType())
204     tx = Transaction(doc, "Import CSV -> parametri")
205     tx.Start()
206
207     updated = 0
208     no_key = 0
209     no_csv = 0
210     notfound = 0
211     readonly = 0
212     log = []
213
214     for e in elems:
215         # recupera Identificativo (istanza o tipo)
216         key = None
217         pk = get_param_inst_or_type(e, REVIT_KEY_PARAM)
218         if pk:
219             key = pk.AsString() or pk.AsValueString()
220             key = norm(key)
221             if not key:
222                 no_key += 1
223                 continue
224
225             if uid_filter and (uid_filter.lower() not in key.lower()):
226                 continue
227
228             row = csv_by_uid.get(key, None)
229             if not row:
230                 no_csv += 1
231                 continue # niente scritture se non c'è la riga nel CSV
232
233     wrote = False

```

```

234 changes = []
235
236 for csv_col, revit_names in csv_col_to_revit_params.items():
237     if any(canon(n) == canon(csv_col) for n in NEVER_TOUCH):
238         continue
239
240     csv_val = norm(row.get(csv_col, u""))
241
242     # ATTENZIONE: ora NON scartiamo più lo zero.
243     # Scriviamo se c'è una stringa (anche "0", "0 W", ecc.)
244     if csv_val is None:
245         continue
246
247     p, scope = find_writable_param(e, revit_names)
248     if not p:
249         notfound += 1
250         continue
251     if p.IsReadOnly:
252         readonly += 1
253         continue
254
255     ok = False
256     try:
257         # Lunghezza [m]
258         if "lunghezza" in canon(csv_col):
259             if p.StorageType == StorageType.String:
260                 ok = p.Set(csv_val)
261             else:
262                 n = try_number(csv_val)
263                 if n is not None:
264                     if p.StorageType == StorageType.Double:
265                         ok = p.Set(m_to_ft(n))
266                     elif p.StorageType == StorageType.Integer:
267                         ok = p.Set(int(round(n)))
268
269         # Potenza [W]
270         elif "potenza" in canon(csv_col):
271             if p.StorageType == StorageType.String:
272                 ok = p.Set(csv_val)
273             else:
274                 n = try_number(csv_val)
275                 if n is not None:
276                     if p.StorageType == StorageType.Integer:
277                         ok = p.Set(int(round(n)))
278                     elif p.StorageType == StorageType.Double:
279                         ok = p.Set(float(n))
280
281         # altri (testo)
282         else:
283             ok = p.Set(csv_val)
284
285     except:
286         ok = False
287
288     if ok:
289         wrote = True
290         if len(log) < 30:
291             nm = revit_names[0]
292             cat = e.Category.Name if e.Category else u"?cat"

```

```

293             changes.append(u"{}='{}'".format(nm, csv_val))
294
295     if wrote:
296         updated += 1
297         if len(log) < 30:
298             log.append(u"[{}|Id {}] {} -> {}".format(
299                 e.Category.Name if e.Category else u"?cat",
300                 e.Id.IntegerValue, key, u", ".join(changes)))
301
302     tx.Commit()
303
304     OUT = [
305         u"CSV: chiavi lette = {}".format(len(csv_by_uid)),
306         u"Filtro Identificativo '{}': {}".format(uid_filter, "ON" if uid_filter
307     else "OFF"),
308         u"Aggiornati = {}".format(updated),
309         u"Senza chiave '{}' = {}".format(REVIT_KEY_PARAM, no_key),
310         u"Codice non presente nel CSV = {}".format(no_csv),
311         u"Parametri non trovati/scrivibili = {}".format(notfound),
312         u"-- Log (max 30) --"
313     ] + (log if log else [u"(nessuna operazione)"])

```

Appendici B – Script Python per import CSV in Progetto Integra

```
1  # ===== CONFIG =====
2  MAIN_CSV =
3  Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\CSV_Integra\Cabin
4  a_TRP_Andreoli_s329037.csv")
5
6  SECONDARY_FILES = [
7
8  Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\Abachi_Revit\ABC_
9  CPR_ELE_AA_Abaco dei dispositivi allarme antincendio.csv"),
10
11 Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\Abachi_Revit\ABC_
12 CPR_ELE_AE_Abaco dell'apparecchio elettrico.csv"),
13
14 Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\Abachi_Revit\ABC_
15 CPR_ELE_AF_Abaco dell'attrezzatura elettrica.csv"),
16
17 Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\Abachi_Revit\ABC_
18 CPR_ELE_AL_Abaco degli apparecchi per illuminazione.csv"),
19
20 Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\Abachi_Revit\ABC_
21 CPR_ELE_DC_Abaco dei dispositivi di comunicazione.csv"),
22
23 Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\Abachi_Revit\ABC_
24 CPR_ELE_DI_Abaco dei dispositivi di illuminazione.csv"),
25
26 Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\Abachi_Revit\ABC_
27 CPR_ELE_DS_Abaco dei dispositivi di sicurezza.csv"),
28
29 Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\Abachi_Revit\ABC_
30 CPR_ELE_DT_Abaco dei dispositivi dati.csv"),
31 ]
32
33 DO_NOT_TOUCH = {"descrizione 2", "Identificativo"} # chiavi da non modificare
34
35 # comodi per aprire in Excel (non influisce sul COMBO)
36 OUTPUT_SEP = ';'
37 OUTPUT_CSV = MAIN_CSV.with_name(MAIN_CSV.stem + "_aggiornato.csv")
38 CHANGES_LOG = MAIN_CSV.with_name(MAIN_CSV.stem + "_modifiche.csv")
39 MAKE_BACKUP = True
40
41 # file COMBO da sovrascrivere (preservando formato)
42 COMBO_FILE =
43 Path(r"C:\Users\s329037\Desktop\s329037\Tesi_interoperabilità\CSV_Integra\Combo
44 _Tipico_per_importazione.csv")
45 # =====
46
47
48 # ----- utility I/O -----
49 def safe_to_csv(df: pd.DataFrame, path: Path, **kwargs) -> Path:
50     """Scrive CSV; se bloccato (Excel aperto) salva con timestamp."""
51     try:
52         df.to_csv(path, **kwargs)
```

```

53         return path
54     except PermissionError:
55         alt = path.with_name(path.stem + "_" +
56 datetime.now().strftime("%Y%m%d_%H%M%S") + path.suffix)
57         print(f"⚠ File in uso: {path}\n → salvo come: {alt}")
58         df.to_csv(alt, **kwargs)
59         return alt
60
61 def sniff_line_ending(path: Path, default="\r\n") -> str:
62     try:
63         with open(path, "rb") as f:
64             chunk = f.read(8192)
65             if b"\r\n" in chunk: return "\r\n"
66             if b"\n" in chunk: return "\n"
67             if b"\r" in chunk: return "\r"
68     except Exception:
69         pass
70     return default
71
72 def sniff_sep(path: Path, default=';') -> str:
73     try:
74         with open(path, "r", encoding="utf-8", errors="ignore") as f:
75             head = "".join([next(f) for _ in range(3)])
76             return ';' if head.count(';') >= head.count(',') else ','
77     except Exception:
78         return default
79
80 def read_csv_try_encodings(path: Path, sep=';', dtypes=str,
81 encodings=('cp1252', 'utf-8-sig', 'latin1')):
82     """Prova vari encoding e restituisce (df, encoding_usato)."""
83     last_err = None
84     for enc in encodings:
85         try:
86             df = pd.read_csv(path, sep=sep, dtype=dtypes, encoding=enc)
87             return df, enc
88         except Exception as e:
89             last_err = e
90     raise last_err if last_err else RuntimeError(f"Impossibile leggere {path}")
91
92 # ----- Lettura header "sporchi" -----
93 def _clean_header(name: str) -> str:
94     if name is None: return ""
95     return " ".join(str(name).replace("\uffff", "").strip().split())
96
97 def normalize_header_columns(df: pd.DataFrame) -> pd.DataFrame:
98     df = df.copy()
99     df.columns = [_clean_header(c) for c in df.columns]
100     return df
101
102 def read_csv_any(path: Path) -> pd.DataFrame:
103     encodings = ["utf-8-sig", "cp1252", "latin1"]
104     # 1) header in prima riga
105     for enc in encodings:
106         try:
107             df = pd.read_csv(path, sep=None, engine="python", encoding=enc,
108 dtype=str)
109             df = normalize_header_columns(df)
110             if "Identificativo" in df.columns or "descrizione 2" in df.columns:

```

```

112         return df
113     except Exception:
114         pass
115     # 2) cerca riga header (Identificativo / Famiglia)
116     for enc in encodings:
117         try:
118             raw = pd.read_csv(path, sep=None, engine="python", encoding=enc,
119                               dtype=str, header=None, keep_default_na=False)
120             try:
121                 raw_clean = raw.map(_clean_header)
122             except Exception:
123                 raw_clean = raw.applymap(_clean_header)
124             header_row = None
125             for i in range(min(10, len(raw_clean))):
126                 if (raw_clean.iloc[i] == "Identificativo").any():
127                     header_row = i; break
128             if header_row is None:
129                 for i in range(min(10, len(raw_clean))):
130                     if (raw_clean.iloc[i] == "Famiglia").any():
131                         header_row = i; break
132             if header_row is None: header_row = 0
133             header = list(raw_clean.iloc[header_row])
134             df = raw.iloc[header_row + 1:].reset_index(drop=True)
135             df.columns = header
136             df = normalize_header_columns(df)
137             df = df.loc[:, (df != "").any(axis=0)]
138             return df
139         except Exception:
140             continue
141     return pd.read_csv(path, encoding="utf-8", dtype=str)
142
143
144     # ----- riconoscimento colonna Identificativo -----
145     def guess_identifier_column(df: pd.DataFrame) -> str | None:
146         pat = re.compile(r"[A-Z0-9]{2,}(?:[_\-][A-Z0-9]{2,})+")
147         candidates = []
148         for col in df.columns:
149             s = df[col].astype(str).str.strip()
150             ratio = s.apply(lambda x: bool(pat.search(x))).mean()
151             if ratio > 0.3:
152                 candidates.append((ratio, col))
153         if not candidates:
154             return None
155         candidates.sort(reverse=True)
156         return candidates[0][1]
157
158
159     # ----- confronto/sovrascrittura -----
160     def normalize_scalar(x):
161         if x is None or (isinstance(x, float) and np.isnan(x)): return np.nan
162         s = str(x).strip()
163         if s == "": return np.nan
164         s_num = s.replace(",", ".")
165         try:
166             return float(s_num)
167         except ValueError:
168             return " ".join(s.split()).lower()
169
170     def coalesce_last_nonnull(df: pd.DataFrame, key: str) -> pd.DataFrame:

```

```

171 df = df.copy()
172 def last_nonnull(series: pd.Series):
173     for v in reversed(series.tolist()):
174         if pd.notna(v) and str(v).strip() != "":
175             return v
176     return np.nan
177 agg = {col: last_nonnull for col in df.columns if col != key}
178 return df.groupby(key, dropna=False, as_index=False).agg(agg)
179
180
181 # ===== MAIN =====
182 def main():
183     # verifica esistenza file
184     missing = [p for p in [MAIN_CSV, *SECONDARY_FILES] if not p.exists()]
185     if missing:
186         print("⚠ File mancanti:"); [print(" -", m) for m in missing];
187     sys.exit(1)
188
189     # 1) principale
190     df_main = read_csv_any(MAIN_CSV)
191     df_main = normalize_header_columns(df_main)
192     if "Nota" not in df_main.columns:
193         raise ValueError("Nel file principale manca la colonna 'Nota'.")
194
195     # 2) secondari
196     sec_frames = []
197     for p in SECONDARY_FILES:
198         df = read_csv_any(p)
199         df = normalize_header_columns(df)
200         if "Identificativo" not in df.columns:
201             guessed = guess_identifier_column(df)
202             if guessed:
203                 df = df.rename(columns={guessed: "Identificativo"})
204             else:
205                 print(f"ATTENZIONE: '{p.name}' senza 'Identificativo' →
206 salto.")
207                 continue
208             df = df[df["Identificativo"].astype(str).str.strip() != ""]
209             sec_frames.append(df)
210         if not sec_frames:
211             raise ValueError("Nessun CSV secondario valido.")
212
213     # 3) merge & dedupe
214     df_sec_all = pd.concat(sec_frames, ignore_index=True)
215     df_sec_all = coalesce_last_nonnull(df_sec_all, key="Identificativo")
216
217     # 4) colonne in comune (tutte, escluso chiavi)
218     common_cols = set(df_main.columns).intersection(df_sec_all.columns) -
219 DO_NOT_TOUCH
220     if not common_cols:
221         raise ValueError("Nessuna colonna in comune da confrontare.")
222     df_sec_use = df_sec_all[["Identificativo", *sorted(common_cols)]].copy()
223
224     # indice per match
225     main_index = {str(v).strip(): i for i, v in enumerate(df_main["descrizione
226 2"].astype(str))}
227
228     # 5) confronto & scrittura
229     changes = []

```

```

230     for _, row in df_sec_use.iterrows():
231         code = str(row["Identificativo"]).strip()
232         if not code or code not in main_index:
233             continue
234         idx = main_index[code]
235         for col in common_cols:
236             v_sec = row[col]
237             v_main = df_main.at[idx, col]
238             if v_sec is None or str(v_sec).strip() == "":
239                 continue
240             a = normalize_scalar(v_main); b = normalize_scalar(v_sec)
241             if (pd.isna(a) and pd.isna(b)) or (a == b):
242                 continue
243             df_main.at[idx, col] = v_sec
244             changes.append({"descrizione 2": df_main.at[idx, "descrizione 2"],
245 "Colonna": col,
246                                     "Valore_precedente": v_main, "Nuovo_valore":
247 v_sec})
248
249     # 6) salvataggi (comodi per Excel)
250     if MAKE_BACKUP:
251         shutil.copy2(MAIN_CSV, MAIN_CSV.with_name(MAIN_CSV.stem +
252 "_backup.csv"))
253         safe_to_csv(df_main, OUTPUT_CSV, index=False, sep=OUTPUT_SEP,
254 encoding='utf-8-sig', lineterminator="\r\n")
255         if changes:
256             safe_to_csv(pd.DataFrame(changes), CHANGES_LOG, index=False,
257 sep=OUTPUT_SEP, encoding='utf-8-sig', lineterminator="\r\n")
258
259     # 7) OVERWRITE del COMBO con TUTTE Le righe dell'OUTPUT tranne la prima
260 (formato preservato)
261     if not COMBO_FILE.exists():
262         raise FileNotFoundError(f"il COMBO non esiste: {COMBO_FILE}. Deve
263 esistere per preservarne il formato.")
264
265     combo_sep = sniff_sep(COMBO_FILE, default=';')
266     combo_lf = sniff_line_ending(COMBO_FILE, default="\r\n")
267     df_combo, combo_enc = read_csv_try_encodings(COMBO_FILE, sep=combo_sep)
268
269     df_updated = pd.read_csv(OUTPUT_CSV, sep=OUTPUT_SEP, dtype=str,
270 encoding='utf-8-sig')
271     df_combo = normalize_header_columns(df_combo)
272     df_updated = normalize_header_columns(df_updated)
273
274     # allinea ordine colonne all'esistente COMBO
275     if list(df_combo.columns) != list(df_updated.columns):
276         missing_cols = [c for c in df_combo.columns if c not in
277 df_updated.columns]
278         if missing_cols:
279             raise ValueError(f"Colonne mancanti nell'OUTPUT rispetto al COMBO:
280 {missing_cols[:5]} ...")
281         df_updated = df_updated.reindex(columns=df_combo.columns)
282
283     # corpo nuovo = tutte le righe dell'OUTPUT tranne la prima
284     body_new = df_updated.iloc[1:].copy()
285
286     # sovrascrivi completamente il COMBO (header + body_new) con lo stesso
287 formato del COMBO
288     safe_to_csv(body_new, COMBO_FILE, index=False, sep=combo_sep,

```

```

289         encoding=combo_enc, lineterminator=combo_lf, header=True)
290
291     print(f"✅ COMBO sovrascritto con tutte le righe del Cabina (esclusa la
292 prima). "
293         f"Formato preservato: sep='{combo_sep}', enc='{combo_enc}', "
294         f"lf={'CRLF' if combo_lf=='\\r\\n' else repr(combo_lf)}")

```

Ringraziamenti

Il percorso che ha portato alla realizzazione di questa tesi rappresenta il punto di arrivo di un cammino formativo ricco di esperienze ed emozioni.

La stesura di questo lavoro, quindi, non è stata soltanto un momento accademico, ma anche un'occasione per riflettere su tutti i momenti vissuti in questi anni, che hanno accompagnato il mio percorso universitario, e soprattutto sulle persone che ho incontrato lungo la strada, con le quali ho condiviso esperienze importanti e dalle quali ho sempre cercato di trarre insegnamenti.

Proprio per questo motivo desidero dedicare alcune parole di ringraziamento a tutte queste persone che, in modi diversi, hanno contribuito alla realizzazione di questo lavoro e che mi hanno sostenuto durante il mio percorso universitario.

Vorrei ringraziare in primis tutta la mia famiglia. Grazie mamma e papà per essermi stati sempre accanto, per avermi sostenuto durante questo percorso e soprattutto perché so quanto sia stato difficile, specialmente all'inizio, non poterci più vedere quotidianamente. Nonostante questo, siete riusciti a farmi sentire meno la distanza, dalle videochiamate alla sera ai messaggi incoraggianti di mamma, fino alle partite della Sampdoria guardate insieme a papà.

Un grazie speciale alla mia sorellina per esserci sempre stata. Senza di lei questi anni sarebbero stati sicuramente più duri. Sei sempre stata un punto di riferimento, la persona sulla quale posso sempre contare, e ti assicuro che lo sarò anch'io per te durante il tuo percorso universitario.

Grazie a mia nonna, a mia zia e alla mia cuginetta Giada, che mi hanno sempre ascoltato in questi cinque anni, ogni volta che tornavo a casa. Grazie soprattutto perché mi avete insegnato che nella vita non bisogna mai mollare: bisogna sempre trovare la forza di rialzarsi e continuare ad andare avanti.

Grazie a mia cugina Camilla e a Lorenzo, con i quali in questi ultimi anni ho condiviso tanti bei momenti, ma anche qualche sofferenza, specialmente quando si tratta della Sampdoria.

Ora vorrei ringraziare i miei compagni di percorso di vita, con i quali ho passato e condiviso tantissimi momenti ed emozioni: i miei coinquilini Anna e Toro, e l'ultimo arrivato Poda. Grazie a voi questi anni sono volati. Non sapete quanto mi siete stati d'aiuto nei momenti più difficili, ma anche quanto vi ringrazio per tutte le risate che mi avete fatto fare. Permettetemi però di fare un ringraziamento speciale a Toro, con il quale ho passato letteralmente ogni singolo momento: cinque anni di coinquilinaggio volati tra serate, divertimento e interminabili discussioni serali su cavolate, come "scalpore".

Un grazie anche a Davide, l'economista lussemburghese, con il quale, per cause di forza maggiore, non sempre siamo riusciti a vederci, ma non ci siamo mai allontanati. Anzi, ogni volta che ne abbiamo avuto la possibilità abbiamo sempre cercato di sfruttare al massimo il tempo insieme. Un grazie anche a tutto il gruppo di Imperia che si è trasferito insieme a me qui a Torino e con il quale ho passato

tantissime e bellissime serate, e con cui abbiamo commentato e preso in giro le avventure di un certo gentleman.

Vorrei poi ringraziare tutte le persone che ho conosciuto qui a Torino e con le quali ho condiviso il mio percorso universitario. In particolare Alessio, il mio compagno di squadra di pallavolo: la nostra sintonia in campo ci ha regalato diverse soddisfazioni; a volte ci ha fatto anche discutere, ma siamo sempre riusciti a superare tutto, ricordando ancora il famoso “cestino”.

Un grazie a tutti i miei compagni del Politecnico, con i quali abbiamo condiviso momenti di difficoltà ma anche tantissime risate che hanno reso questi cinque anni più leggeri. Un grazie speciale a Luco, il quinto coinquilino imbucato, o il mio “amis Dal Furn” preferito (so che è scritto male), e a Davide Prex, che, anche se lontano, è stato davvero una persona importante per me e sono molto contento di aver incontrato nella mia vita.

Insieme a loro vorrei ringraziare anche tutta la mia squadra di pallavolo Ecosport. Grazie a voi e ai momenti di squadra passati insieme ho sempre trovato una valvola di sfogo. Una squadra migliore non potevo trovarla: le risate che mi fate fare sono impossibili da descrivere.

Grazie a Fulvio e a tutto lo studio Start. Ho passato solo un anno con voi, ma mi avete fatto crescere tantissimo sia a livello personale sia professionale. Ho vissuto esperienze che, come ho già detto, rifarei senza esitazione.

Successivamente vorrei ringraziare i miei nuovi colleghi: Mariano, Robi, Andrea, Mauri, Alessio, e i miei capi Gianlu e Fede, che mi hanno fatto entrare all’interno di una vera famiglia e in un ambiente super professionale che mi sta facendo crescere sempre di più ogni giorno che passa. Non vedo l’ora di scoprire cosa mi riserverà il futuro.

Infine, vorrei ringraziare un’ultima persona, Annalisa. So che non sei una persona da cose troppo sdolciate, ma voglio ringraziarti davvero, perché fin da subito ho trovato in te una persona che sa ascoltare, che sa stare al gioco e farsi prendere in giro, cosa tutt’altro che scontata, e con la quale sono sicuro condividerò tanti bei momenti, soprattutto andando a vedere la nostra squadra del cuore, il Piacenza.

Concludo con un ringraziamento speciale a due persone che mi hanno accompagnato lungo tutta la mia vita, e in particolare durante questo percorso universitario. Senza di loro le giornate sarebbero state sicuramente più cupe: Federico Oliviero e Tony.

Grazie.

