

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il progetto sostenibile

Collegio di Architettura

Classe LM-4



Tesi di laurea Magistrale

H-BIM e tecnologie immersive

Processi automatizzati e interoperabili per la
manutenzione impiantistica programmata

Relatori:

Prof. Ing. Anna OSELLO

Prof. Ing. Matteo DEL GIUDICE

Candidato:

Francesco PIZZUTOLI

Anno Accademico 2023/2024

Abstract ITA

L'applicazione del Building Information Modeling (BIM) nel campo del patrimonio storico è nota come **Heritage Building Information Modeling** (H-BIM).

Questa metodologia ci permette di costruire “**gemelli digitali**” degli edifici storici posti a tutela, che diventa oggi essenziale in ottica di salvaguardia e gestione. Si veda, ad esempio, all'avvenimento accaduto a Parigi con l'incendio della famosa Notre-Dame. La digitalizzazione del modello e dei dati storici ci permette, ad esempio, di avviare nel più breve tempo la ricostruzione.

L'obiettivo della tesi è la creazione di un modello “**As Built**” della parte “Guariniana” di Palazzo Carignano, in particolar modo viene posto l'accento sul tema degli **impianti esistenti**, che devono essere ben distinti dall'elemento architettonico. Essenziale diventa quindi la figura del **BIM Specialist-MEP** e il tema della condivisione dei modelli e dei dati tra le altre figure professionali coinvolte per la generazione di un modello federato, utile ai **facility manager** nelle fasi di **gestione**.

La fase di gestione della manutenzione impiantistica viene gestita con l'utilizzo di **tecnologie immersive** che permettono l'anteprima dell'ambiente di intervento e la condivisione istantanea dell'informazione tra progettista e installatore/manutentore.

I mezzi software e i dispositivi utili a questo processo di digitalizzazione sono molteplici. Diventa pertanto essenziale, in ottica di condivisione, il tema dell'**interoperabilità** dei dati attraverso il formato standard **IFC** (Industry Foundation Class) e l'implementazione di **nuovi processi** che rendono i **dati dinamici**, grazie ai quali viene costruito un sistema interattivo di gestione della **manutenzione impiantistica ordinaria**.

Abstract ENG

The application of Building Information Modeling (BIM) to the field of historical heritage is known as **Heritage Building Information Modeling** (H-BIM).

This methodology allows us to create "**digital twins**" of historically protected buildings, which has become essential for their preservation and management. Consider, for example, the event that occurred in Paris with the fire of the famous Notre-Dame. The digitization of the model and historical data allows us, for instance, to start the reconstruction as quickly as possible.

The goal of this thesis is to create an "**As Built**" model of the "Guariniana" part of Palazzo Carignano, with a specific focus on the **existing systems**, which must be clearly distinguished from the architectural elements. Therefore, the role of the **BIM Specialist-MEP** becomes crucial, as well as the importance of sharing models and data among the other professionals involved, for the creation of a federated model, useful for the **facility manager** in the phases of **management**.

The management phase of system maintenance is supported through the use of **immersive technologies** that enable previewing the intervention environment and the instant sharing of information between the designer and the installer/maintenance technician.

The software tools and devices useful for this digitization process are numerous. Therefore, in the context of data sharing, the topic of **interoperability** through the standard **IFC** (Industry Foundation Class) format becomes essential, along with the implementation of **new processes** that make the **data dynamic**, enabling the creation of an interactive system for managing **routine system maintenance**.

INDICE

Introduzione	7
1 BIM	9
1.1 Origini e innovazione del BIM	9
1.2 Sviluppo della normativa tecnica	12
1.3 Livelli di maturità digitale	15
1.3.1 Dimensioni del BIM.....	19
1.4 Ambiente di condivisione dati.....	21
1.4.1 Interoperabilità.....	24
1.5 Livello di dettaglio del dato	26
1.6 BIM Execution Plan (BEP).....	31
1.7 Figure professionali	34
2 H-BIM	37
2.1 Digitalizzazione del patrimonio storico	37
2.2 Definizione di una metodologia H-BIM.....	39
2.3 Impianti negli edifici storici.....	43
3 Tecnologie immersive	47
3.1 Sviluppi.....	47
3.2 Diverse tipologie di realtà	50
3.3 Applicazioni nel settore AEC.....	53
4 Palazzo Carignano	55
4.1 Corpo “guariniano” seicentesco.....	57
4.2 Appartamento dei principi	59
4.3 Periodo settecentesco	61
4.4 Corpo ottocentesco	63

5	Workflow H-BIM.....	67
5.1	Definizione del Livello di dettaglio (LOD).....	68
5.2	Rilievo	70
5.3	Restituzione del modello architettonico.....	72
5.4	Restituzione del modello elettrico.....	77
5.4.1	Costruzione delle famiglie elettriche	85
5.4.2	Costruzione dei circuiti elettrici	89
5.5	Popolamento dei dati	91
5.5.1	Parametro “ID”	93
5.5.1.1	Costruzione del codice ID in ambiente Dynamo	96
5.5.2	Parametro “Rilevato”	99
5.5.3	Parametri informativi generali	101
5.5.4	Parametri di manutenzione	103
5.5.4.1	Costruzione del codice “manutenzione” in ambiente Dynamo.....	107
5.5.4.2	Visualizzazione dei parametri.....	114
5.5.5	Parametri di previsione dei costi di manutenzione	120
5.5.5.1	Costruzione del codice “previsione costi” in ambiente Dynamo	122
5.5.5.2	Visualizzazione dei parametri.....	129
5.6	Interoperabilità del modello	131
6	Workflow applicativi.....	135
6.1	Applicativo di realtà aumentata AR	137
6.2	Applicativo di realtà virtuale VR	149
	Conclusioni	154
	Indice delle figure	157
	Fonti	162

Introduzione

Il lavoro svolto per la stesura della tesi è frutto di collaborazione tra altri tesisti che si sono occupati di rilevare e definire il modello “**As Built**” **architettonico** di Palazzo Carignano. Utile allo scopo dell’elaborato è proprio il contesto architettonico per implementare l’elemento impiantistico attraverso un **modello federato**, condiviso all’interno di un CDE (Common data environment).

Per poter arrivare alla definizione del **modello MEP** rilevato (Mechanical, Electrical, Plumbing) e alla sua condivisione attraverso **applicazioni immersive**, vengono dapprima affrontati i temi cardine di questo studio.

Viene di seguito definita la **metodologia BIM**, il suo panorama normativo e gli standard utilizzati, punto di partenza per poter definire una metodologia **H-BIM** da applicare all’elemento impiantistico esistente.

1 BIM

1.1 Origini e innovazione del BIM

Il concetto di “BIM” nasce dall’esigenza delle diverse figure che concorrono alla progettazione complessa di un manufatto, di poter **condividere**, **cooperare** e **comunicare** all’interno di un unico sistema, chiaro e accessibile, attraverso un linguaggio comune.

Questo concetto venne teorizzato per la prima volta in una nota pubblicazione del 1974 di **Charles M. Eastman**, dal nome “*An outline of the building description system*”¹, in questa ricerca viene delineato un sistema denominato **BDS**, ovvero, **Building Description System**, descritto come un mezzo per un facile inserimento grafico di forme ed elementi complessi, interattivi e modificabili, capace di produrre disegni tecnici di alta qualità e con un database di attributi facilmente ordinabile per produrre dei data set per l’analisi operativa.

La necessità di creare questo sistema derivava dai **limiti** del **disegno bidimensionale**, dalla mancanza di un database descrittivo di ciascun elemento edilizio e dalla difficoltà di apportare modifiche per una serie di disegni mantenendo allo stesso tempo coerenza negli elaborati, questo portava inevitabilmente ad una maggiore complessità del progetto, alla perdita di dati e ad uno sforzo maggiore richiesto a tutte le figure che vi partecipavano.

Il BDS garantiva quindi al progettista l’extrapolazione da un database, precedentemente definito, qualsiasi tipo di elaborato grafico, piani, prospetti,

¹ Eastman C., Fisher D., Lafue G., Lividini J., Stoker D., Yessios C., *An Outline of the Building Description System*, (1974).

sezioni, vista prospettica o esploso ricevendo in contemporanea i dettagli costruttivi documentati in tempi brevi e a basso costo. Garantendo anche un'utilità per successivi lavori di manutenzione e ristrutturazione per tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Questo sistema che inizialmente era confinato solo agli ambiti di ricerca accademici, si è evoluto grazie allo sviluppo dell'hardware e alla necessità di maggiore complessità e alla sempre più pressante richiesta di ottimizzare tempi e costi nella progettazione, raggiungendo nel tempo una complessità tale da mutare in una vera e propria metodologia sempre più richiesta nel settore AEC, Influenzandolo a tal punto da condurlo verso una concezione basata su modelli digitali 3D e non più su un processo basato sul disegno 2D cartaceo.

Solo nel 2002 l'acronimo BIM, come è conosciuto oggi, iniziò a essere ampiamente utilizzato grazie agli studi e alle pubblicazioni negli USA di Jerry Laiserin. Nel tempo ha assunto diversi significati nell'ambito della letteratura internazionale, ma tra questi quello che più di tutti rappresenta l'intento di questo concetto è il BIM come **Building Information Modelling**.

“un insieme di processi applicati per realizzare, gestire, ricavare e comunicare informazioni tra soggetti a livelli differenti, utilizzando dei modelli creati da tutti i partecipanti al processo edilizio, in tempi diversi ed anche per scopi non uguali tra loro, per garantire qualità ed efficienza attraverso l'intero ciclo di vita di un manufatto.”²

La mera rappresentazione grafica composta da forme geometriche semplici e complesse non basta per definire un modello BIM, essenziale è l'attribuzione di proprietà agli oggetti che compongono il modello digitale dell'edificio e la loro facile estrapolazione. Queste proprietà possono spaziare dalla semplice indicazione delle dimensioni dell'oggetto a quelle che ne definiscono il materiale, il costo o le indicazioni tecniche per l'installazione o

² Si veda, A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM, cit., pp. 33-35.*

manutenzione, raggiungendo una complessità tale da consentirne l'utilizzo a tutti gli attori coinvolti nel ciclo di vita dell'edificio. Tra i primi strumenti che ci consentivano di elaborare questi modelli popolati da dati ritroviamo Archicad che fu rilasciato da Graphisoft nel 1986.

Questo processo è ancora oggi in fase di ottimizzazione e di studio, molte regole e convenzioni devono ancora essere definite e standardizzate, ed in molti casi viene ancora utilizzato come un processo lineare e quindi con l'unico scopo di portare a termine una progettazione, ma l'intento è invece quello di creare un **processo circolare** e cioè un approccio legato anche alle fasi di realizzazione, gestione e fine vita, quindi al ciclo di vita completo del manufatto dove la responsabilità del progettista non si ferma alla sola progettazione e all'incarico datogli.

“Pertanto, affinché il BIM possa essere implementato con successo, è essenziale che i membri del team abbiano ben chiaro l'utilizzo futuro dell'informazione che stanno sviluppando.”³

³ Si veda, A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM, cit., p. 49.*

1.2 Sviluppo della normativa tecnica

Ormai da tempo il BIM ha fatto il suo ingresso nel mondo dell'edilizia e la sua evoluzione si lega inevitabilmente allo sviluppo normativo nazionale e internazionale.

Per poter definire al meglio requisiti, specifiche e linee guida, caratteristiche e standard del processo BIM, bisogna ripercorrere la **situazione normativa** e gli **standard adottati** con particolare attenzione all'Europa e all'Italia. Il processo di pubblicazione è assai intrecciato, alcune normative vengono abrogate, sostituite o incorporate, altre fungono da allegato riprendendo alcuni concetti e avvolte vengono riscontrati termini che differiscono. La normativa è ancora in fase di sviluppo ed evoluzione, generando in tal senso non poca confusione.

La serie **BS 1192**, in particolare la BS 1192:2007, successivamente revisionata nel 2015 (BS 1192:2007+A1:2015) e nel 2016 (BS 1192:2007+A2:2016), è la prima normativa pubblicata dal British Standards Institution (BSI) che forniva un codice di condotta da poter applicare ai sistemi informativi nel settore delle costruzioni, dove il personale coinvolto nella preparazione, produzione e utilizzo delle informazioni di costruzione durante le fasi di progettazione, costruzione, manutenzione e smaltimento di un'infrastruttura, stabilendo metodologie comuni per denominare, classificare e scambiare dati in un ambiente collaborativo, definendone ruoli e responsabilità e introducendo per la prima volta il concetto di **Common Data Environment (CDE)**.

Per velocizzare e garantire il processo di adozione dello standard BIM, dovuto all'esigenza del mercato britannico, vengono pubblicate le **Publically Available Specification (PAS)**, documenti che seguono le linee guida della BSI e che nella forma e nella struttura sono assimilabili alle norme tecniche, anche se differiscono nel percorso di adozione. Nasce così la

serie **PAS 1192**, concepita come sviluppo ed evoluzione della BS 1192:2007+A2:2016.

La prima pubblicazione avviene nel 2013 con la **PAS 1192-2:2013**, successivamente vengono pubblicate le serie 3, 4, 5 e 6, queste contengono concetti relativi alla **gestione della commessa**, al **livello di maturità** del BIM, al **livello di dettaglio** di un dato, all'**interoperabilità**, concetti che verranno affrontati nello specifico più avanti.

Oggi le serie BS 1192 e la serie PAS 1192, eccetto che per la serie PAS 1192-6:2018 che si occupa di descrivere le norme BIM su salute e sicurezza nei cantieri, sono state ritirate a partire dal 2018 e sostituite con lo standard internazionale della serie **ISO 19650** nel quale vi confluiscono i concetti precedentemente affrontati, diventando così la normativa tecnica di riferimento, costituita da cinque parti e una sesta in fase di sviluppo che, molto probabilmente, andrà a sostituire la PAS 1192-6:2018 in tema di salute e sicurezza integrandola.

La serie **UNI EN ISO 1950** presenta ad oggi cinque parti pubblicate:

- I. Concetti e principi.
- II. Fase di consegna de cespiti immobili.
- III. Fase gestionale dei cespiti immobili.
- IV. Scambio di informazioni.
- V. Approccio orientato alla sicurezza per la gestione informativa.

In contemporanea in Italia viene pubblicata la serie **UNI 11337**, in particolare nel 2009 viene rilasciata la UNI 11337:2009 dall'Ente Italiano di Normazione (UNI), poi sostituita dalla UNI 11337-1:2017.

In Italia la serie UNI 11337 composta attualmente da 7 parti pubblicate e da altre 3 parti in fase di sviluppo, sono ancora oggi in vigore e costituiscono allegato tecnico alle norme UNI EN ISO 19650.

La serie **ISO 11337** presenta sette parti ad oggi pubblicate:

- I. Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi.

- II. Flussi informativi e processi decisionali nella gestione delle informazioni da parte della committenza.
- III. Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione.
- IV. Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti.
- V. Flussi informativi nei processi digitalizzati.
- VI. Linea guida per la redazione del capitolato informativo.
- VII. Requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa.

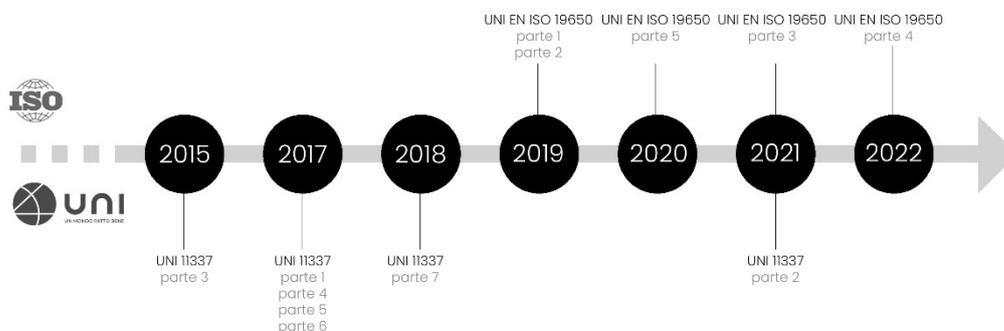


Figura 1: Evoluzione temporale della normativa in Italia, elaborazione personale.

1.3 Livelli di maturità digitale

Il livello di maturità digitale viene identificato attraverso la valutazione del **grado di collaborazione** e condivisione delle informazioni tra i vari attori coinvolti in una commessa, dove, nei livelli di maturità maggiore, le informazioni diventano un bene comune, accessibili a tutti e le piattaforme digitali e gli strumenti collaborativi giocano un ruolo fondamentale nel facilitare lo scambio di queste informazioni in tempo reale.

la serie **PAS 1192** ha introdotto **4 livelli** di maturità:

L0 _ Comporta un livello di collaborazione bassa, prevalentemente si opera in due dimensioni su supporti cartacei o software CAD.

L1 _ Si opera in un Common Data Environment (CDE) in due e tre dimensioni, unicamente in formati digitali. Non viene ancora utilizzato un unico modello condiviso.

L2 _ Si opera in tre dimensioni e vengono integrate informazioni legate al tempo e al budget. Non vi è ancora l'utilizzo di un modello unificato ma si utilizza un formato aperto nello scambio dei modelli e delle informazioni.

L3 _ Viene utilizzato un modello comune all'interno di un ambiente condiviso accessibile al gruppo di progetto, il quale, in tempo reale, verifica gli effetti delle singole azioni sul modello.

Il concetto di maturità espresso all'interno della PAS 1192 confluisce nella norma **ISO 19650-1:2018** che ripropone il concetto di maturità del BIM.

La normativa definisce la gestione informativa attraverso una sequenza di **tre stadi**, rappresentati all'interno di una matrice che può essere letta da sinistra a destra per seguire la crescita dei benefici derivanti dalla digitalizzazione dei processi o dal basso verso l'alto per seguire la crescita dei benefici derivanti dalla collaborazione tra professionisti.

Progredendo dallo stadio 1 al 3 si assiste ad una crescente integrazione dei dati sia a livello tecnologico che informativo.

Stadio 1 _ In questo stadio il processo segue le normative nazionali e si opera all'interno di un ambiente condiviso attraverso dati strutturati e non strutturati.

Stadio 2 _ In questo stadio oltre alle normative tecniche nazionali vengono prese in considerazione le normative internazionali ISO 19650-1 e 2 e si opera all'interno di un ambiente condiviso con dati strutturati e non strutturati e attraverso modelli federati.

Stadio 3 _ In questo stadio si presume un'evoluzione futura della normativa operando all'interno di un ambiente di condivisione dati interattivo che interroga uno o più modelli federati contenente grandi quantità di dati strutturati e non strutturati e modelli informativi federati e basati su oggetti BIM.

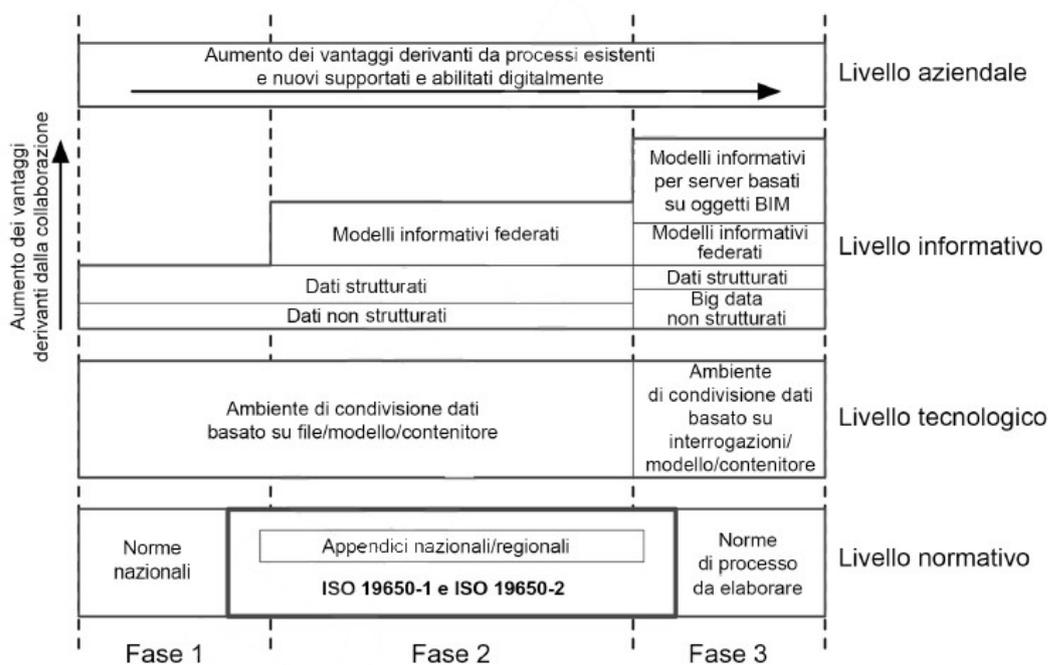


Figura 2: Stadi di maturità della gestione di informazioni analogiche e digitali⁴

⁴ Si veda, *UNI EN ISO 19650-1:2019*, p. 9.

Attualmente in Italia, oltre alla UNI EN ISO 19650-1:2019 che definisce i tre stadi di maturità, vi è anche la **UNI 11337-1:2017** che definisce il livello di maturità digitale del BIM attraverso 5 livelli:

Livello “0”, non digitale;

Il trasferimento dei contenuti informativi avviene con formati non digitali su supporti prevalentemente cartacei, costituendo un progetto o un sistema di raccolta non digitale.

Livello “1”, base;

Il trasferimento dei contenuti avviene attraverso elaborati informativi digitali, permane la prevalenza di riproduzione su supporto cartaceo e vi è un sistema di raccolta digitale che non comunica tra i vari elaborati.

Livello “2”, elementare;

Il trasferimento dei contenuti avviene prevalentemente attraverso modelli informativi grafici, eventualmente accompagnati da contenuti grafici digitali per specifiche necessità di dettaglio, la parte contrattuale è prevalentemente cartacea e accompagnata da supporto digitale con riferimento al modello grafico.

Livello “3”, avanzato;

Il trasferimento dei contenuti digitali grafici, documentali e multimediali è favorito attraverso l'utilizzo di apposite schede informative che mettono i dati in relazione dialogando tra loro. La prevalenza del dato è su supporto digitale.

Livello “4”, ottimale;

Il trasferimento dei contenuti avviene attraverso modelli informativi digitali e il loro insieme costituisce il modello informativo virtualizzabile in senso grafico, documentale e multimediale.

Il raggiungimento del massimo livello di maturità comporta notevoli vantaggi, legati a un significativo **incremento di produttività**.

Questo incremento deriva dall'istantaneo scambio di informazioni chiare e facilmente comprensibili, anche in presenza di un'enorme mole di dati, traducendosi in tal modo in un circolo virtuoso di **efficienza**, riduzione dei costi, sicurezza migliorata e qualità superiore delle costruzioni, rappresentando così un obiettivo strategico di rilievo per l'industria delle costruzioni.

1.3.1 Dimensioni del BIM

L'Italia con la UNI 11337-1:2019 definisce le **dimensioni digitali** del BIM, queste servono a schematizzare i diversi livelli di informazione di un modello, ad oggi le dimensioni definite dalla normativa sono 7 e ulteriori 3 sono in fase di dibattito per essere integrate.

1D _ Organizzazione del modello BIM.

2D _ Modellazione geometrica bidimensionale.

3D _ Modellazione geometrica tridimensionale, questo permette una visione più ampia e accurata dell'intero progetto, migliore collaborazione, diminuzione degli errori grazie all'aggiornamento in tempo reale del modello.

4D _ La gestione temporale attraverso cronoprogramma dei lavori, permette al project management di eliminare le inefficienze e ritardi dovuti a mancate comunicazioni tra progettista, impresa e fornitori grazie alla riorganizzazione dei tempi di una commessa in maniera dinamica attraverso una Work Breakdown Structure (WBS).

5D _ Attraverso la gestione informativa economica i dati vengono legati agli elementi 3d del modello digitale definendo quantità, materiali, ore lavoro e stima dei costi, determinando una maggiore precisione e prevedibilità dei costi.

6D _ Garantisce al facility management la giusta gestione operativa dell'edificio nelle sue componenti per tutto il ciclo di vita considerando anche gli aspetti di dismissione e rinnovamento dell'opera edilizia. Vengono integrate nel modello informazioni relative ai componenti, alle specifiche, ai manuali di manutenzione e installazione, garanzie ecc. Ottimizzando di fatto la gestione operativa del bene.

7D _ Permette lo sviluppo sostenibile di un edificio nuovo o già esistente. Consentendo un'analisi in termini di sostenibilità economica, ambientale, energetica in fase di progettazione e su edifici già esistenti.

8D __ Aggiunge informazioni relative alla sicurezza, questo ci porta a visualizzare anticipatamente le fasi di cantiere e quindi a prevedere rischi nel processo costruttivo e a definire le attività da attuare per prevenire incidenti. Questo consente di avere un quadro completo degli scenari di cantiere e delle interferenze tra le diverse figure che operano all'interno di un cantiere.

9D __ Consente di ottimizzare e snellire tutti gli step necessari alla fase di realizzazione di un'opera, attraverso la digitalizzazione dei processi. Consente il monitoraggio dell'uso delle materie prime in modo da ridurre al minimo gli sprechi, ottimizzando le risorse e creando strategie per convertire in modo efficace anche i rifiuti e migliorando la produttività rientrando nei tempi e nel budget previsto in fase di progettazione.

10D __ Ha la finalità di industrializzare e rendere il settore delle costruzioni più produttivo grazie alle nuove tecnologie e all'integrazione dei dati fisici, ambientali e commerciali.

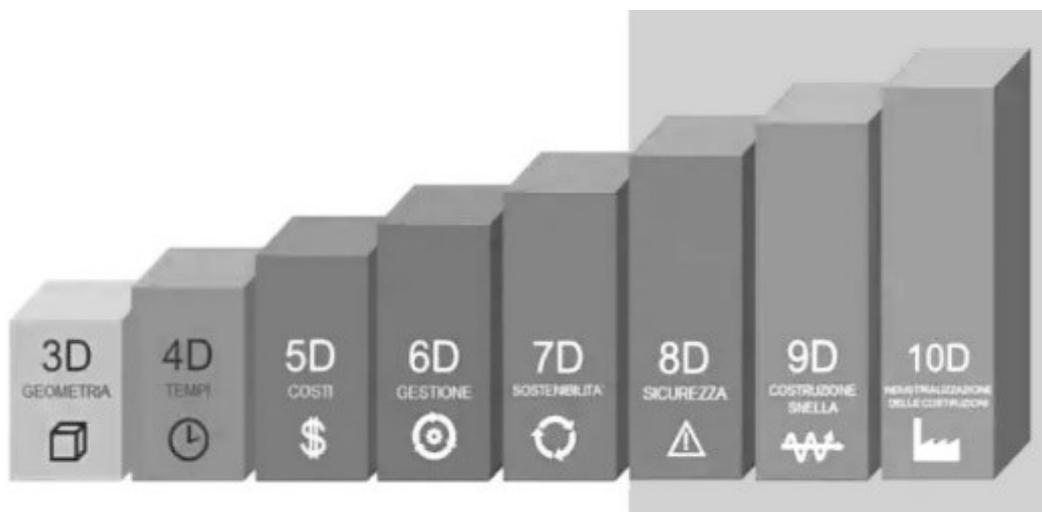


Figura 3: Le dimensioni del BIM⁵

⁵ Si veda, <https://biblus.acca.it/le-dimensioni-del-bim/>

1.4 Ambiente di condivisione dati

L'aspetto più innovativo nella metodologia BIM è quello di aver risolto la problematica più ricorrente nella progettazione, e cioè avere la certezza di lavorare alla versione del progetto più aggiornata senza correre il rischio che i vari gruppi si ritrovino a lavorare per dei possibili errori di comunicazione, su versioni incomplete, non revisionate o superate. Ciò accade soprattutto nella progettazione di grandi opere in cui il processo di comunicazione è reso complesso dalla partecipazione di più gruppi nelle varie fasi di sviluppo, nonostante vi siano figure preposte a garantire la supervisione definendo regole grafiche e terminologiche nell'utilizzo ed organizzazione degli elaborati.

Oggi il processo di progettazione avviene elaborando e sviluppando un **modello digitale condiviso** dall'intero gruppo o dai gruppi di lavoro, in cui una copia del modello centrale viene continuamente sincronizzato perché risiede all'interno di un server privato, su un cloud (Dropbox, Drive, ...) o all'interno di un software di condivisione in modo da avere sempre un modello centrale aggiornato. Alcuni esempi di soluzioni software commerciali sono: BIM360, Projectwse, usBIM Platform, BIMX, BIMPlus, Trimble Connect, ecc.

A livello italiano la normativa che regola e definisce l'**Ambiente di Condivisione Dati** (ACDat) è la **UNI 11337-5:2017**, lo stesso ambiente di condivisione dati, Common Data Environment (CDE), era dapprima definito dalle norme tecniche britanniche BS 1192 e PAS 1192 poi confluite nella normativa internazionale **UNI EN ISO 19650-1:2019** che definisce il flusso del dato all'interno di un ambiente di condivisione.

Qui il dato viene inserito all'interno di specifici contenitori che ne descrivono lo stato in base al livello di transizione ottenuto tramite processi di approvazione e autorizzazione.

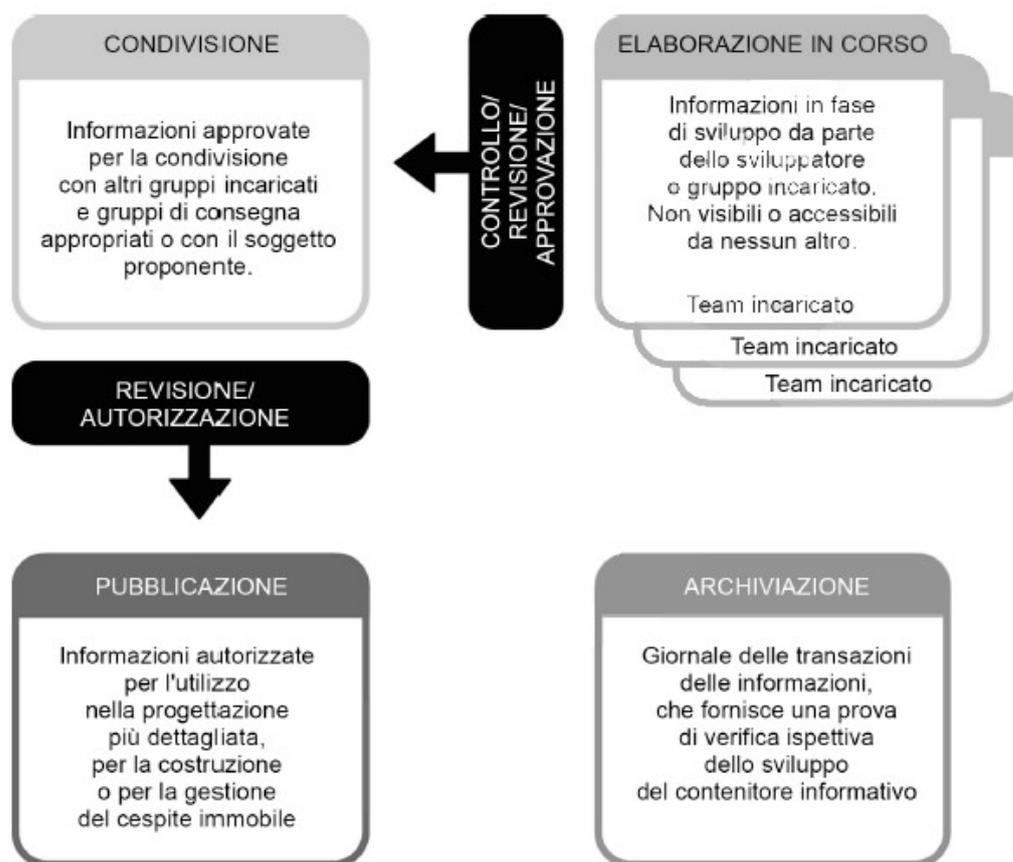


Figura 4: Principio dell'ambiente di condivisione dati⁶

Elaborazione in corso

In questo contenitore il dato non è visibile a tutti ma è in via di sviluppo da parte del gruppo specifico incaricato. Il passaggio al contenitore successivo avviene attraverso un processo di controllo, revisione e approvazione, effettuato dallo stesso gruppo incaricato a sviluppare il dato, definito inizialmente da un piano di consegna.

Condivisione

Qui il dato viene condiviso per essere visibile e accessibile ma non modificabile a tutti gli altri gruppi di lavoro, i quali potranno coordinarsi per integrare a loro volta i propri dati. Per modificare il dato questo dovrà

⁶ Si veda, *UNI EN ISO 19650-1:2019*, p.29

essere riportato all'interno del contenitore di stato "elaborazione in corso", modificato e riconsegnato dal gruppo di lavoro originario. La transizione al contenitore successivo prevede la revisione e l'autorizzazione tramite dei requisiti informativi di coordinamento, di completezza e accuratezza. Se questi requisiti vengono soddisfatti il dato assume lo stato di pubblicazione.

Pubblicazione

In questo contenitore il dato può essere utilizzato nella fase realizzativa e di costruzione o per la gestione di un cespite immobile

Archiviazione

Qui il dato viene archiviato per tenere uno storico di tutte le informazioni che sono state condivisi e pubblicate per poter avere all'occorrenza un protocollo di verifica del loro sviluppo.

L'ambiente di condivisione dati è, in pratica, la struttura sulla quale si basa l'**efficienza** del processo di produzione e gestione del modello digitale, un sistema digitale vivo e dinamico, creato e gestito da un professionista esperto di tutto ciò che serve per garantire il funzionamento, dai processi collaborativi BIM fino alle tecnologie di rete. Senza alcun dubbio l'organizzazione di un CDE richiede un grosso impegno di risorse, le direttive di legge e quindi i protocolli di cyber security ad uso delle pubbliche amministrazioni devono essere pianificati internamente, pertanto, Il CDE dovrà essere dedicato e non potrà appoggiarsi a software commerciali di terze parti. Il risultato è che tutto ciò richiede competenza particolari, quindi la necessità di figure specialistiche come il **CDE Manager** introdotto dalla normativa UNI.

1.4.1 Interoperabilità

Essendo il BIM una metodologia che enfatizza la collaborazione e lo scambio dei dati, l'approccio **openBIM**, che si discosta nettamente dal **closedBIM**, è la sua naturale evoluzione.

L'**openBIM** pone l'accento sull'**apertura del dato** e sulla fruizione dello stesso da parte di tutte le figure che partecipano al progetto. Questo fa sì che non vi sia un software specifico per poter utilizzare il dato ma vengono definiti, invece, dei **formati standardizzati e aperti** come l'**IFC** (Industry Foundation Classes) nato per iniziativa di **buildingSMART**, società senza scopo di lucro costituita nel Regno Unito, come formato standard e aperto per il BIM.

Il **closedBIM** a differenza dell'**openBIM** è un approccio di lavoro basato sull'utilizzo di **formati proprietari e chiusi**, prodotti da software BIM authoring che presuppongono che in un gruppo di lavoro sia necessario accordarsi sull'utilizzo di un unico software BIM, imponendo di fatto un processo chiuso e restrittivo che implica una difficoltà maggiore nella collaborazione tra le diverse figure nell'interscambio dei dati.

Il formato **IFC** viene definito dalla **UNI EN ISO 16739-1:2020** e diventa così uno **standard internazionale**, questo formato consente l'interscambio di un modello informativo, senza perdita o distorsione di dati tra software, un sistema di archiviazione per l'organizzazione e il trasferimento di dati digitali, al fine di facilitare l'interoperabilità tra diversi soggetti.

“Oggi, IFC viene in genere utilizzato per scambiare informazioni tra due o più parti di una specifica transazione commerciale. Ad esempio, un architetto può fornire al proprietario un modello per la progettazione di una nuova struttura, un proprietario può inviare quel modello di edificio a un appaltatore per richiedere un'offerta e un appaltatore può fornire al proprietario un modello costruito con i dettagli che descrivono i prodotti installati e le informazioni tecniche del produttore. L'IFC può anche essere

usato come mezzo per archiviare informazioni sul progetto, sia in modo incrementale durante le fasi di progettazione, approvvigionamento e costruzione, sia come raccolta “as-built” di informazioni per scopi di conservazione e operazioni a lungo termine.”⁷



Figura 5: Diagramma composizione schema dati IFC⁸

Oltre allo standard aperto IFC esistono altri standard, schemi dati e formati sviluppati da buildingSmart o altri enti, progettati appositamente per differenti scopi, tra i quali ritroviamo: IDS (Information Delivery Specification); BCF (BIM Collaboration Format); IDM (Information Delivery Manual); MVD (Model View Definitions); ecc.

⁷ Si veda, <https://www.buildingsmartitalia.org/standard/standard-bs/industry-foundation-classes-ifc/>, *cit.*

⁸ Si veda, <https://biblus.acca.it/ifc-file-tutto-quello-che-devi-sapere/>

1.5 Livello di dettaglio del dato

Il **LOD** descrive il **livello di dettaglio** di un determinato dato all'interno di un modello BIM, permettendo in tal modo di comprendere la fase di lavorazione di un modello e le informazioni presenti in un determinato momento. Differenti situazioni necessiteranno di diversi gradi di dettaglio, per tale motivo diventa essenziale la fase di definizione e gestione di questo indicatore per migliorare la comunicazione, la collaborazione e la precisione del dato.

La definizione LOD viene identificata dapprima dall'**American Institute of Architects** (AIA) che nel 2008 pubblicò uno dei primi documenti descrittivi del framework di lavoro nella metodologia BIM, e nello specifico, il livello di sviluppo degli oggetti modellati, documento ampliato negli anni e aggiornato dall'associazione **BIMforum**. L'AIA definisce l'acronimo LOD come **Level of Development** e identifica i livelli di sviluppo attraverso una scala di tipo numerico crescente che indica l'aumento del grado di dettaglio:

LOD 100

L'oggetto viene rappresentato tramite simboli, non vi è una rappresentazione geometrica dell'oggetto che ne definisce la forma.

LOD 200

L'oggetto viene rappresentato tramite un volume che ne definisce l'orientamento e la forma in modo approssimativo.

LOD 300

L'oggetto viene rappresentato tramite un volume che ne definisce l'orientamento e la forma in modo puntuale, l'oggetto può essere misurato, la sua origine è posizionata accuratamente nel modello e può contenere informazioni non grafiche.

LOD 350

L'oggetto viene rappresentato accuratamente, è misurabile direttamente dal modello, contiene informazioni non grafiche e presenta relazioni tra gli oggetti in prossimità.

LOD 400

L'oggetto presenta un dettaglio tale da poter essere messo in opera, contiene informazioni dimensionali, di posizione, orientamento, quantità e dettagli di fabbricazione, assemblaggio e installazione.

LOD 500

Non indica una progressione nel livello di dettaglio in fase di progettazione. L'oggetto digitale corrisponde all'oggetto reale messo in opera tramite verifiche sul campo.

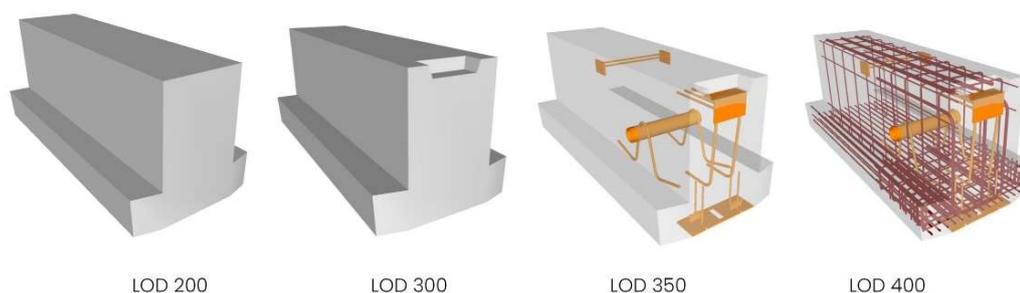


Figura 6: Rappresentazione grafica del livello di sviluppo (LOD)⁹

Nel Regno Unito, Il **Construction Industry Council** (CIC) nel 2013 pubblica un protocollo BIM da seguire per i futuri progetti finanziati con fondi pubblici. Questo protocollo definisce responsabilità, limiti e risultati dei membri del gruppo di progetto nelle fasi chiave del processo che corrispondono ad uno specifico livello di dettaglio.

⁹ Si veda, *Bim Forum, LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION. PART 1, GUIDE, & COMMENTARY, (2021), pp. 40-41*

La definizione di LOD, descritta all'interno della normativa BS PAS 1192-2:2013 oggi ritirata e sostituita dalla BS EN ISO 19650:2019 che la assorbe al suo interno, assume qui il significato di “**Level of Definition**” e analogamente al sistema americano i LOD vengono numerati in scala crescente in base al livello di dettaglio da LOD 1 a LOD 7.

Analogamente, la normativa italiana **UNI 11337-4:2017** introduce i **livelli di sviluppo degli oggetti digitali** (LOD), introducendo anche il concetto di **LOG** e **LOI** che definiscono in ordine **attributi geometrici** e **attributi informativi**. Potremmo dire che il LOD sia dato dalla somma delle caratteristiche geometriche (LOG) e di quelle informative (LOI).

$$\mathbf{LOD = LOG + LOI}$$

Per evitare confusione con la scala LOD anglosassone, si è scelto di utilizzare le lettere dell'alfabeto per categorizzare i livelli di dettaglio in ordine crescente:

LOD A (oggetto simbolico)

L'oggetto viene rappresentato simbolicamente con informazioni quantitative e qualitative indicative.

LOD B (oggetto generico)

L'oggetto viene rappresentato geometricamente attraverso volumi semplici, con informazioni quantitative e qualitative approssimate.

LOD C (oggetto definito)

L'oggetto viene definito attraverso una geometrica ben definita, le informazioni di prestazione, dimensione, forma, ubicazione, orientamento, costo, ecc. sono definite genericamente.

LOD D (oggetto dettagliato)

L'oggetto viene definito attraverso una geometria dettagliata, le informazioni di prestazione, dimensione, forma, ubicazione, orientamento, costo, ecc. sono definite specificatamente attraverso prodotti similari.

LOD E (oggetto specifico)

L'oggetto viene definito attraverso una geometria specifica, le informazioni di prestazione, dimensione, forma, ubicazione, orientamento, costo, ecc. sono specifiche di un prodotto definito.

LOD F (oggetto eseguito)

L'oggetto descrive geometricamente l'oggetto costruito e verificato sul luogo (As-Built), le informazioni quantitative e qualitative sono specifiche dell'oggetto messo in opera e vengono integrate informazioni su interventi futuri di gestione, manutenzione, riparazione, sostituzione da eseguirsi durante tutto il ciclo di vita dell'opera.

LOD G (oggetto aggiornato)

L'oggetto viene aggiornato in relazione ad interventi di manutenzione, riparazione e sostituzione durante il suo ciclo di vita. Con aggiornamento delle caratteristiche quantitative e qualitative generando in tal modo una serie storica della vita utile di uno specifico sistema.

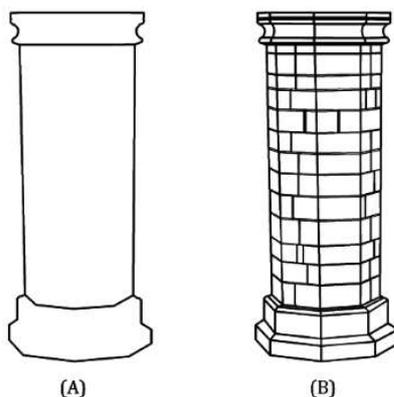


Figura 7: Esempio di diversi dettagli di una colonna alla stessa scadenza di consegna delle informazioni per scopi diversi: pianificazione del sito (A), conservazione del patrimonio (B)¹⁰

¹⁰ Si veda, *UNI EN 17412-1:2021*, p. 10

La **UNI EN ISO 19650-1:2019** introduce il concetto di **Livello di Fabbisogno Informativo** mettendo da parte di fatto i livelli di dettaglio LOD definite dalle PAS britanniche. Questo concetto cerca di definire preventivamente il livello di dettaglio qualitativo, quantitativo e di **granularità dell'informazione** minima e **necessaria** per rispondere a ciascun quesito rilevante, diminuendo di fatto la quantità di dati non richiesta che porterebbe all'eccesso di informazioni inutili. Pone quindi attenzione massima alla granularità dell'informazione quanto all'informazione geometrica.

La normativa europea UNI EN 17412-1:2021 approfondisce questo concetto definendo una metodologia per specificare il livello di fabbisogno informativo chiedendosi lo scopo dell'utilizzo delle informazioni da consegnare, le scadenze di consegna delle informazioni, gli attori che riceveranno e produrranno l'informazione e gli obiettivi all'interno di una struttura ad oggetti scomposta. Tutti questi interrogativi portano alla definizione del grado di dettaglio necessario al raggiungimento dell'obiettivo della commessa.

1.6 BIM Execution Plan (BEP)

La definizione di BIM Execution Plan (BEP) fu introdotta dal NIBS (the National Institute of Building Sciences) negli Stati Uniti.

Il BIM Execution Plan, definito anche **piano di gestione informativa** (pGI) introdotto nella normativa italiana UNI 11337-5:2017 e UNI 11337-6:2017 diventate poi allegati della più recente normativa serie UNI EN ISO 19650, si pone l'obiettivo di definire modi e strumenti per raggiungere esigenze e requisiti definiti dal **Capitolato Informativo** (CI), chiamato anche **Employer Information Requirements** (EIR) nella serie inglese PAS 1192 ormai ritirata e confluita nello standard internazionale della serie ISO 19650 che ha ribattezzato il termine in **Exchange Information Requirements**.

La UNI 11337-5:2017 e la UNI 11337-6:2017 definiscono due fasi della gestione informativa che differiscono in base alle tempistiche di stesura.

L'**offerta per la gestione informativa** (oGI) che corrisponde al BIM execution Plan pre-contract award dove in fase di gara i potenziali "esecutori" definiscono gli steps e le competenze per poter soddisfare le richieste e quindi dimostrare di assolvere al compito.

Il **piano per la gestione informativa** (pGI) che corrisponde al BIM execution Plan post-contratto che ha valore contrattuale e definisce il piano operativo della gestione informativa in risposta alle esigenze del committente.

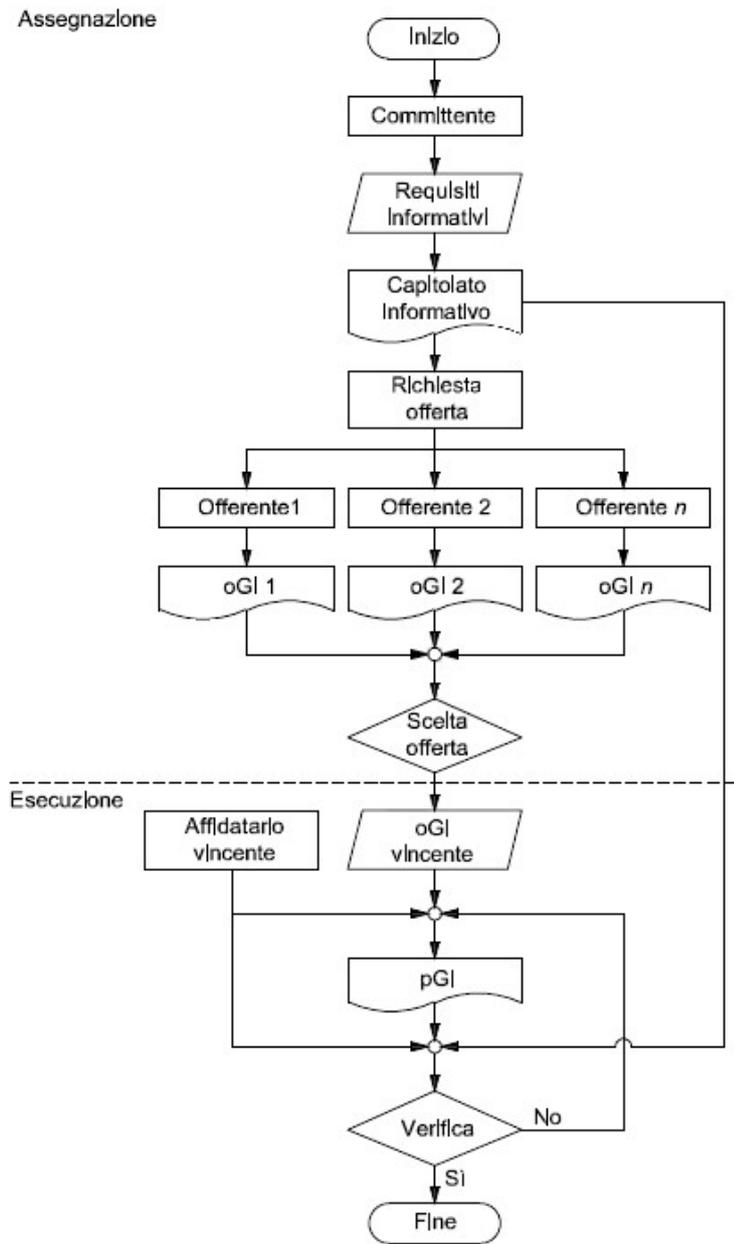


Figura 8: Flusso informativo¹¹

I contenuti del piano per la gestione informativa possono essere molteplici, questi vengono definiti in base agli obiettivi attesi. Tra i contenuti essenziali di una gestione informativa ritroviamo le indicazioni dell'infrastruttura hardware e software, i formati di consegna, eventuali sistemi di riferimento,

¹¹ Si veda, *UNI 11337-5:2017*, p. 4

i LOD, la definizione degli elaborati, i ruoli e le responsabilità, la definizione dell'ambiente di condivisione dei dati e la sua sicurezza e tutela. Questi sono solo alcuni dei contenuti che rispondono al Capitolato Informativo (CI).

La serie **UNI EN ISO 19650**, definisce più nello specifico le **fasi** e i **requisiti informativi** di una commessa, aggiornando, di fatto, le PAS 1192 britanniche sostituendole e integrandone i contenuti.

Nella UNI EN ISO 19650-1:2019 vengono definiti i requisiti informativi, la loro gerarchia e i modelli informativi risultanti.

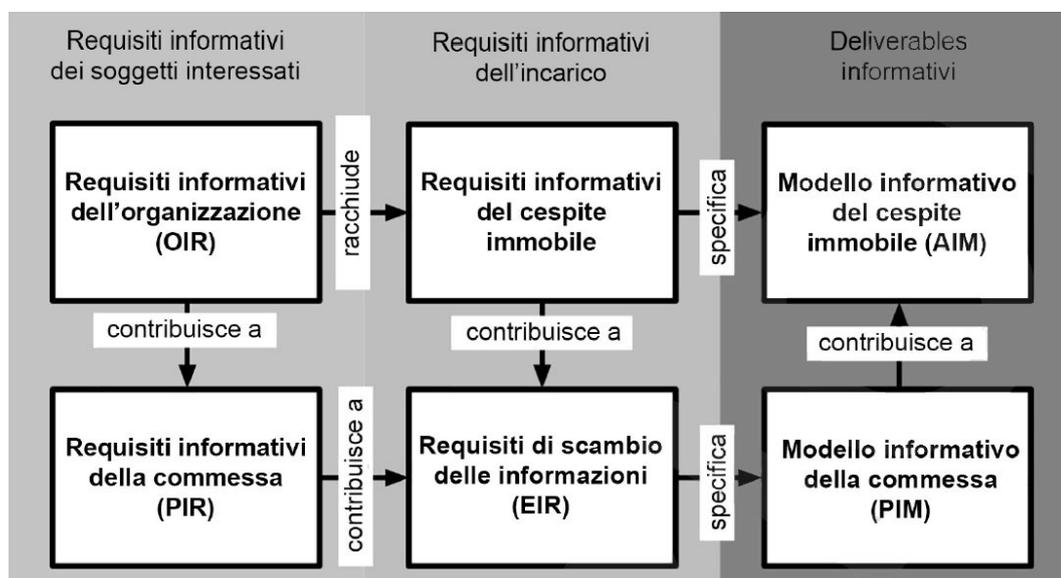


Figura 9: Gerarchia dei requisiti informativi¹²

Questi requisiti informativi standardizzano e migliorano la qualità della documentazione prodotta per la gestione di una commessa, integrando al loro interno tutte le informazioni utili e garantendo a tutte le parti coinvolte il loro accesso in tempi brevi e nei formati prestabiliti con il fine ultimo della consegna del modello informativo.

¹² Si veda, *UNI EN ISO 19650-1:2019*, p. 12

1.7 Figure professionali

La **UNI 11337-7:2018**, introduce requisiti relativi all'attività professionale delle **figure coinvolte** nella gestione e nella modellazione informativa.

Nella normativa vengono individuate **quattro** distinte **figure professionali** suddivise tra compiti e attività specifiche e con diversi requisiti di conoscenza, abilità e competenza.

BIM Specialist

Il BIM Specialist ha un ruolo chiave nella **modellazione** informativa e agisce all'interno delle singole commesse.

É la **parte operativa** della modellazione e della gestione informativa a supporto del BIM Coordinator e traduce in termini digitali i dati geometrici e informativi del progetto attraverso competenze specifiche, tutto questo avviene all'interno di un contesto multidisciplinare e collaborativo, sempre in piena conformità con la normativa vigente, superando ampiamente la mera conoscenza di un software di modellazione.

Il Bim Specialist è l'unico profilo per cui è necessario scegliere l'ambito disciplinare di competenza, tra i quali ritroviamo gli ambiti relativi all'architettura, strutture, impianti e infrastrutture. (BIM ARCH, BIM STR, BIM MEP...)

BIM Coordinator

Il BIM Coordinator assume la **responsabilità** di **coordinatore** dei flussi informativi di una specifica commessa, nella quale, in base alla complessità, possono essere presenti più BIM Coordinator. Il suo compito primario è **garantire l'efficienza** e **l'efficacia** dei **processi** digitalizzati agendo in

stretta collaborazione con il BIM Manager, a cui risponde del proprio operato.

Il BIM Coordinator **redige** o analizza un **piano di gestione informativa** (PGI) in risposta al capitolato informativo (CI) e in base al contesto e alla complessità della commessa, può redigere un capitolato informativo che va a dettagliare quello che tendenzialmente viene originariamente redatto dalla committenza, per poi sottoporlo ai livelli subordinati, andando in tal modo a dettagliarlo per una maggiore chiarezza.

Il suo ruolo fondamentale consiste nell'integrare l'intero flusso di lavoro del progetto e nell'assicurarsi la creazione di modelli BIM federati. Inoltre, collabora attivamente con il BIM Manager per definire e formalizzare gli aspetti contrattuali.

BIM Manager

Il BIM Manager ha il compito di **gestire i processi digitalizzati** e lavora all'interno dell'organizzazione, eccedendo alla singola commessa. Definisce e propone investimenti legati all'utilizzo di hardware e software, propone programmi di ricerca e sviluppo, partecipa all'attività reportistica e all'attività di auditing per mantenere costantemente in efficienza i processi organizzativi digitalizzati e contribuisce attivamente a tutte le commesse BIM in corso, allocando le risorse umane specializzate presso le diverse commesse e individuando uno o più BIM Coordinator, che supporta, se già stati designati, nella redazione del Capitolato Informativo (CI), nell'offerta di gestione informativa (oGI) e nel piano di gestione informativa (pGI) o li redige autonomamente.

Il BIM Manager **definisce** le **regole** e le **procedure** per la gestione informativa, individuando criteri, strutturazione dei modelli, definendo strutture logiche e funzionali degli ambienti di collaborazione, dei flussi di lavoro all'interno dell'ACDat messi in atto dal BIM Coordinator e la **pianificazione** e **programmazione** della **consegna** dei modelli

informativi al cliente a stretto contatto con il BIM Coordinator e collaborando con il CDE Manager.

CDE Manager

Il CDE Manager **gestisce** l'**ambiente** di **condivisione** dei **dati** (ACDat) ricercando soluzioni informatiche di rete o in cloud.

Questo implica la creazione di utenze e la gestione delle autorizzazioni delle diverse figure all'interno dell'ambiente di condivisione. Controlla l'interoperabilità del processo informativo e verifica la correttezza e la puntualità del flusso di informazioni, prestando particolare attenzione alla protezione delle informazioni e della proprietà intellettuale delle stesse in supporto al BIM Manager.

L'ente italiano di normazione (UNI) ha pubblicato la prassi di riferimento **UNI/PdR 78:2020** relativa alla **certificazione** dei professionisti **BIM** in conformità alla UNI 11337-7:2018 definendo i requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure professionali coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa. Le certificazioni vengono rilasciate da specifici enti a seguito di esami sostenuti presso organismi di valutazione.

Queste certificazioni, oltre che a identificare personale adeguatamente qualificato, o a formare il personale interno di chi opera nel BIM, vengono richieste sempre di più nei procedimenti di tipo pubblico, dove le stazioni appaltanti le richiedono nei capitolati informativi a garanzia del corretto svolgimento dell'intero iter procedurale di appalto in BIM. Come definito dal D.lgs. 36/2023 del Codice degli Appalti.

2 H-BIM

2.1 Digitalizzazione del patrimonio storico

In un paese come l'Italia, dove il patrimonio storico rappresenta una grossa fetta degli edifici esistenti, si pone un tema centrale legato alla **conservazione** e alla messa in sicurezza del manufatto stesso.

Essendo per loro natura il risultato di diverse stratificazioni di fasi evolutive, materiali e modifiche architettoniche susseguitesi negli anni, vi è la difficoltà di assimilare tutte le informazioni attraverso un approccio tradizionale che porta inevitabilmente alla **perdita di dati** inerenti agli interventi effettuati in passato, vi è una **frammentazione dell'informazione** dovuta alla moltitudine degli enti che hanno gestito negli anni il manufatto.

Questo comporta in fase di pianificazione di intervento a perdere la maggior parte del tempo nella fase di ricerca e organizzazione delle informazioni.

Da questo presupposto nasce il termine **H-BIM** (Historical/Heritage Building Information Modelling). Il termine venne coniato nel 2009, usato per la prima volta in un articolo scientifico dal professor Maurice Murphy del Dublin Institute of Technology, ovvero l'esigenza di utilizzare la digitalizzazione applicando la metodologia BIM anche agli edifici storici attraverso la restituzione grafica di un modello popolato da informazioni documentali storiche, che possa facilitare la ricerca degli stessi offrendo vantaggi in fase di interventi e migliorarne la promozione e fruizione del bene anche attraverso l'utilizzo di nuove tecnologie come la realtà aumentata.

In poche parole, l'H-BIM ci fornisce un metodo da seguire per la costruzione di una copia digitale, popolata da dati, di un edificio storico o manufatto, utile alle fasi di gestione e restauro future. Il termine utilizzato per indicare questa copia digitale è "**Digital Twin**" che bisogna ben distinguere dal

termine “**As Built**” che viene spesso utilizzato impropriamente come sinonimo.

“**As Built**” sta ad indicare il modello grafico e informativo di un edificio esistente, la normativa italiana **UNI 11337-4:2017** mette in **relazione** il modello “**As Built**” con il **LOD F**, ovvero l’oggetto costruito e verificato sul luogo.

Il “**Digital Twin**”, invece, è un concetto più ampio che combina il modello informativo con l’**Internet of Things** (IoT), software e tecnologie interconnesse su di una rete internet utili a rilevare informazioni sullo stato dell’edificio durante il suo ciclo di vita. Questo ci permette, ad esempio, di regolare parametri di temperatura, umidità, illuminazione, intercettare piccoli spostamenti strutturali in tempo reale e qualsiasi altro parametro utile ad individuare, oltre allo stato di salute dell’edificio, anche l’interazione uomo-edificio migliorando l’esperienza utente.

2.2 Definizione di una metodologia H-BIM

Per poter definire al meglio una metodologia H-BIM, è essenziale conoscere, oltre alla metodologia BIM, differenti argomenti utili soprattutto nella fase iniziale di ricerca delle informazioni storiche e nella fase di restituzione del modello informativo. Le differenti tecniche di **rilievo** ci permettono di poter scegliere l'approccio migliore nel rilevare il manufatto e le tematiche legate al **restauro** diventano fondamentali per integrare nel modello le giuste indicazioni dello stato di conservazione dei materiali che compongono l'edificio oltre che ai temi più etici legati alle scelte da effettuare in fase di intervento.

Solo avendo chiare tutte queste tematiche si può definire un approccio elencato per punti di seguito:

Acquisizione dei dati storici

L'approccio corretto, essenziale in ottica di recupero e restauro coerente con la storia dell'edificio, passa per la **ricerca documentale** cartacea e digitale reperibile. Questa fase richiede un maggiore sforzo, soprattutto in edifici storici dove le informazioni sono sparse, quindi difficili da intercettare o addirittura mancanti.

Condivisione

Fin dalle prime fasi di lavoro è opportuno creare un **ambiente di condivisione dati** (CDE) per favorire la **collaborazione** tra diverse figure professionali coinvolte nella conservazione e nel restauro, consentendo loro di accedere e contribuire al modello H-BIM e alle relative informazioni per garantire la conservazione e l'accessibilità dei dati nel lungo termine e per mantenere il modello aggiornato nel tempo, integrando nuovi dati e

adattando il processo alle esigenze specifiche dell'edificio storico e ai cambiamenti nelle tecnologie e nelle pratiche di conservazione.

Rilievo

In base all'obiettivo da raggiungere per la rappresentazione di un manufatto, possono essere utilizzate diverse **tecniche di rilievo**. Queste tecniche si sono evolute nel tempo, anche grazie all'utilizzo di strumentazioni sempre più avanzate che ne migliorano i tempi di rilievo e di restituzione e ne diminuiscono l'errore umano. Nella sostanza queste tecniche si basano tutte sulla determinazione della posizione di un certo numero di punti di un oggetto necessari alla sua rappresentazione.

Essenziale nella restituzione di un modello è il **rilievo topografico** che ci permette di inquadrare precisamente all'interno di un sistema di coordinate il manufatto attraverso l'individuazione di punti con strumenti come la stazione totale o sistemi di rilevamento GNSS, questi sistemi ci permettono un'alta precisione ma al contempo hanno bisogno di accessibilità e tempistiche di rilievo molto dilatate dovute alla restituzione dei punti che vengono battuti punto per punto.

Per i modelli HBIM è essenziale avere un rilievo dettagliato dei vari componenti che compongono l'edificio, questo comporta un alto numero di punti da rilevare. Qui ci vengono in aiuto le tecniche di rilievo più innovative tra cui ritroviamo la **fotogrammetria** e l'utilizzo del **laser scanner**.

Per il rilievo dettagliato degli esterni vengono scattate foto al manufatto da diverse angolazioni su di un percorso programmato attraverso l'utilizzo di droni che raggiungono facilmente le posizioni sopraelevate, che altrimenti sarebbero di difficile accesso. Successivamente queste foto vengono elaborate da software di calcolo che utilizzano tecniche fotogrammetriche per generare nuvole di punti.

Per il rilievo degli interni, generalmente, è preferibile l'utilizzo del laser scanner, strumentazione che invia fasci laser per determinare il

posizionamento dei punti. Le nuvole di punti generate da queste strumentazioni dovranno essere opportunamente scalate e pulite per poter essere utilizzate in fase di restituzione del modello.

Nella pratica di rilievo i diversi metodi vengono utilizzati in modo integrato per le fasi di inquadramento e per la restituzione dettagliata dei componenti architettonici.

Restituzione modello e popolamento dei dati

La fase di restituzione prevede la modellazione 3d dell'intero manufatto rilevato.

Il modello completo sarà composto dalla **sommatoria** di tutti gli **elementi** e a questi elementi saranno **associate le informazioni** necessarie all'estrapolazione degli abachi contenenti misure, quantità, materiali, stato di conservazione e tutti i dati associati utili alla pianificazione delle manutenzioni a lungo termine.

La fase di modellazione differisce dal metodo BIM per quanto riguarda la scelta dei livelli di sviluppo degli oggetti digitali (LOD), infatti, in ottica di **conservazione** viene sviluppato il modello architettonico in **LOD F**, mentre in ottica BIM si parte da LOD meno dettagliati a quelli più dettagliati distinguendo le fasi di pianificazione, progettazione e messa in opera.

Differente è la situazione in cui si deve definire il solo elemento impiantistico, qui l'**elemento architettonico** funge da **base** per la **collocazione** dell'**elemento impiantistico** e il livello di sviluppo degli oggetti digitali architettonici e impiantistici possono essere rappresentati a LOD meno dettagliati. L'elemento architettonico viene rappresentato geometricamente attraverso volumi semplici ma che ne mantengono l'identità per poter collocare l'elemento impiantistico nella giusta posizione o evitare in fase di nuova progettazione impiantistica interferenze tra l'elemento architettonico e impiantistico.

Negli anni vi è stata la necessità di approfondire i LOD nel campo del restauro, che sono specifici della progettazione ex novo.

C. Bianchini e S. Nicastro, professori dell'Università della Sapienza di Roma, nella pubblicazione *“La definizione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi di Historic-BIM”* introducono un nuovo parametro chiamato **LOR** (Level of Reliability) che opera in continuità con la classificazione LOD ed è stato sviluppato per migliorare la **trasparenza** e l'**affidabilità** nei processi di modellazione H-BIM ed inteso come livello di coerenza globale del processo di definizione di un qualsiasi oggetto digitale.

Nello studio viene individuato un set di parametri condivisibili dalla comunità scientifica al fine di raggiungere una valutazione numerica, il valore associato a questi parametri varia da 0 a 2 e la media aritmetica di questi valori viene trasformata in un valore di più facile lettura espresso tra 0 e 10, dove il valore più alto indica una maggiore coerenza e precisione del modello.

Il parametro dovrà poi essere esplicitato nel modello informativo, eventualmente a corredo del LOD.

2.3 Impianti negli edifici storici

Un aspetto rilevante nella tutela del patrimonio edilizio storico è il **tema degli impianti**.

Nella letteratura scientifica, inerente alla metodologia HBIM, questo tema è poco trattato, per questo motivo bisogna interrogarsi su quale sia l'approccio ideale da seguire su **impianti esistenti** che devono essere ben **distinti** dall'**elemento architettonico**.

Gli impianti presenti all'interno di edifici storici, ad eccezione di alcuni casi dove l'elemento impiantistico diventa anche architettonico (si veda ad esempio il Centre Pompidou), **non hanno un valore storico**, pertanto, non rappresentano un patrimonio da salvaguardare e valorizzare, ma la sua digitalizzazione resta comunque essenziale alle pianificazioni future di gestione e manutenzione.

In una metodologia H-BIM l'elemento architettonico viene rilevato e rappresentato con livelli di dettaglio che si avvicinano all'elemento reale proprio per garantirne la salvaguardia nel tempo, avere lo stesso tipo di approccio nella restituzione geometrica della parte impiantistica porterebbe ad uno **spreco di tempo e risorse** in fase di restituzione del modello, dato anche dalla difficoltà di rilevare gli impianti in modo puntuale, che potrebbero essere, in alcuni casi, integrati nelle murature. Fatta eccezione per impianti facilmente individuabili che comportano una fase di restituzione poco impegnativa.

La restituzione del modello impiantistico, quindi, avviene generalmente a livelli di **dettaglio geometrico basso**, che ne identificano l'ingombro, ma con **alti livelli di restituzione informativa**, in base alla commessa, essendo gli stessi utili, generalmente, a fasi di calcolo prestazionale e di analisi.

L'approccio ideale per ottenere un modello integrato con la parte impiantistica è quello di **restituire**, prima, il **modello architettonico** sul quale si potrà collocare l'elemento impiantistico rilevato o essere utilizzato come base per futuri interventi di riprogettazione e riqualificazione degli impianti che devono essere aggiornati per le nuove esigenze e prestazioni da soddisfare, essendo gli edifici storici fortemente energivori e spesso non adeguati a rispondere alle più moderne normative ed esigenze di comfort.

Da qui nasce l'esigenza di rilevare e restituire gli impianti esistenti o prevedere nuove soluzioni impiantistiche che potranno essere integrate al modello architettonico precedentemente digitalizzato.

Questo ci garantisce di rispettare in modo opportuno tutti i vincoli architettonici presenti in caso di aggiornamenti impiantistici, di valutare la compatibilità delle nuove soluzioni con la struttura esistente e prevedere le fasi di manutenzione e riqualificazione future.

Gli impianti generalmente presenti negli edifici storici sono l'impianto elettrico, antincendio, idraulico (per i servizi igienici) e di climatizzazione. Questi impianti installati seguono delle specifiche regole e normative, attuate specificatamente per gli edifici posti a tutela

Impianti elettrici

Negli edifici storici, in alcuni casi, non è possibile rispettare la normativa vigente in materia di sicurezza per gli impianti elettrici a causa dei vincoli architettonici, per questo ci viene in aiuto la normativa **CEI 64-15** che suggerisce soluzioni che integrano e in alcuni casi variano, con prescrizioni a "sicurezza equivalente", quanto già previsto dalla normativa CEI 64-8.

In pratica se esiste un vincolo architettonico che non consente l'applicazione della normativa, si può valutare una misura alternativa sostenuta possibilmente dalla CEI 64-15.

Impianti antincendio

Un tema importante da affrontare all'interno degli edifici storici è quello dei sistemi antincendio. La difficoltà di installare questi sistemi ha portato alla stesura di specifiche normative.

Il **DM n.569** del 20/05/1992, *“Regolamento contenente norme di sicurezza antincendio per gli edifici storici e artistici destinati a musei, gallerie, esposizioni e mostre”*, ci viene incontro nel definire le regole da applicare nelle situazioni di complessità che si possono riscontrare negli edifici storici.

Vi è l'impossibilità di applicare sistemi di protezione passiva come muri e porte tagliafuoco e questo ci porta ad effettuare interventi puntuali di protezione attiva attraverso l'utilizzo di allarmi, rilevatori di fumo, estintori, reti idranti, ecc., che devono essere scelti tenendo in considerazione l'impatto degli stessi in un contesto storico.

Purtroppo, non sempre l'applicazione della normativa ci garantisce di rispettare i vincoli di tutela dell'edificio. La FSE (Fire Safety Engineering) ci permette attraverso un approccio ingegneristico di simulare incendi attraverso modelli di calcolo che in deroga alle normative ci permette di garantire la massima sicurezza antincendio.

Impianti di climatizzazione

Gli edifici storici risultano fortemente energivori, questo è dovuto agli ampi spazi, ad una stratificazione delle murature esterne con assenza di isolamento e infissi con basse prestazioni che portano inevitabilmente al discomfort degli utenti.

Un progetto di riqualificazione energetica (retrofit) segue i principi del restauro senza compromettere il valore storico ed estetico dell'edificio e questo ci consente di ridurre i costi futuri di esercizio e un miglioramento del comfort degli occupanti.

Gli interventi di riqualificazione passano dall'individuazione degli impianti già presenti e da una ponderata scelta del sistema di riscaldamento e raffrescamento più adatto, tenendo in considerazione i componenti dei vari sistemi e la loro eventuale interferenza con l'elemento architettonico.

I sistemi di riscaldamento e raffrescamento, se ex novo, presentano la grossa problematica della predisposizione della rete di distribuzione. Per non intaccare l'integrità dell'edificio, la rete viene distaccata nettamente dall'esistente, nascosta all'interno di appositi battiscopa o dietro appositi pannelli che fungono da controparete, ad esempio, in un sistema di riscaldamento come la caldaia a condensazione vi è la presenza della canna fumaria, elemento di difficile inserimento all'interno di edifici storici, che dovrà essere opportunamente distaccato da quello architettonico.

Altri sistemi come le pompe di calore ci permettono di raffrescare e riscaldare gli ambienti senza bruciare combustibili fossili, vi è quindi il vantaggio di non avere l'allaccio alla rete del gas e la non emissione di inquinanti in atmosfera.

All'interno di edifici storici adibiti a luoghi pubblici come musei o biblioteche vengono solitamente installati sistemi con pompa di calore ad aria, che attraverso degli split collocati puntualmente riescono a riscaldare e raffrescare l'ambiente con l'unica problematica dell'unità esterna che non è sempre possibile da installare in facciata.

3 Tecnologie immersive

Le tecnologie immersive vengono impiegate per **emulare** un **ambiente fisico** o visualizzare elementi virtuali in sovrapposizione all'ambiente reale, questo è possibile grazie all'ausilio di **interfacce interattive** che inducono una sensazione di immersione grazie alla stimolazione sensoriale.

Nel caso dell'emulazione di un ambiente, queste tecnologie ci permettono di far astrarre totalmente l'utente dall'ambiente reale.

3.1 Sviluppi

Queste tecnologie hanno avuto i primi sviluppi grazie agli studi sulla **stereoscopia** del XIX secolo dove venivano sviluppate immagini che offrivano una percezione tridimensionale quando visualizzate attraverso appositi dispositivi. Successivamente iniziarono a svilupparsi, più nello specifico, i primi concetti legati alla realtà virtuale grazie a idee e speculazioni presenti nella fantascienza del XX secolo.

Tuttavia, i primi studi scientifici e tecnologici iniziarono per scopi militari, grazie alla necessità di addestrare i nuovi piloti in situazioni di guerriglia. Nel 1929 venne sviluppato il **Link Trainer**, un simulatore di volo che permetteva l'addestramento eliminando i rischi e abbassando i costi di queste operazioni.

Morton Heilig nel 1957 creò il **Sensorama**, un macchinario creato per il cinema considerato da molti la prima macchina per la realtà virtuale, questo dispositivo riproduceva filmati che coinvolgevano non solo vista e udito, ma anche tatto e olfatto.

Myron krueger nel 1975 sviluppa il primo sistema che permetteva l'interazione tra l'uomo ed elementi virtuali visibili a schermo chiamato "**Videoplace**".

L'interesse per la realtà virtuale creò sempre più interesse con il passare degli anni, ed aziende come SEGA e Nintendo, negli anni 90, svilupparono i propri dispositivi come il **SEGA VR** e il **Nintendo Virtual Boy**. Tuttavia, i limiti legati alla tecnologia, non regalavano all'utente un'esperienza all'altezza delle aspettative, questo portò al fallimento commerciale di questi primi tentativi di portare la realtà virtuale al grande pubblico. Durante questo periodo, la VR fu principalmente utilizzata per scopi di ricerca scientifica e applicazioni militari e industriali, piuttosto che per il consumo di massa.

Nel 1999 fu presentato l'**ARToolkit**, un software gratuito che facilitava la creazione di applicazioni di **realtà aumentata** che ne favorì lo sviluppo, questo permise di velocizzare il processo di sviluppo da parte dei programmatori, ma la vera esplosione avvenne intorno al 2010 con il miglioramento delle fotocamere dei dispositivi mobili come telefoni, tablet e sviluppi successivi degli occhiali intelligenti come **Microsoft HoloLens** e **Magic Leap One**.

Sempre in quegli anni si riaccese l'interesse anche per la **realtà virtuale** grazie al lancio di un visore che offriva una migliore qualità grafica e maggiore interattività, l'**Oculus Rift**, un progetto nato da una campagna Kickstarter e successivamente acquisito da Meta ex Facebook.

Queste tappe hanno portato successivamente allo sviluppo di altri importanti dispositivi per la realtà virtuale come l'**HTC Vive**, sviluppato in collaborazione con Valve, il PlayStation VR di Sony e le successive generazioni di Oculus, **Meta Quest 2**, **3**, **3S**, **Meta Quest Pro** e l'ultimo, rilasciato da Apple, il **vision Pro**. Questi dispositivi consentono anche l'utilizzo degli stessi per applicazioni di realtà aumentata, grazie al "**pass-through**", funzione presente nei dispositivi di ultima generazione che attraverso la presenza di camere esterne ci consentono di visualizzare il mondo reale.

Attraverso questo espediente questi dispositivi ci permettono di spaziare tra le diverse realtà a piacimento anche all'interno della stessa applicazione utile nella creazione di applicazioni mixed reality.

3.2 Diverse tipologie di realtà

Lo sviluppo di ambienti immersivi e virtuali presuppone l'abbinamento di dispositivi hardware e software specifici.

A seconda dello scopo e del tipo di tecnologia utilizzata può cambiare il tipo di esperienza e il livello di **intensità di immersione** che dipende anche dal grado di fusione tra realtà fisica e quella virtuale. Per questo motivo vengono individuate diverse forme di tecnologie immersive, tra cui la Realtà Virtuale (VR), la Realtà Aumentata (AR) e la Realtà Mista (MR).

Realtà Virtuale (VR)

La realtà virtuale (VR) cerca di **replicare** un mondo fisico o fittizio e consente all'utente, attraverso apposita tecnologia come **visori, sensori di movimento, controller** manuali e qualsiasi altro dispositivo utile a riprodurre un'esperienza sensoriale, di **immergersi totalmente** all'interno di un **nuovo mondo** isolandosi completamente dal mondo reale.

Il termine "virtual reality" fu coniato negli anni 80 da Jaron Lanier che fondò la VPL Research, una delle prime aziende a sviluppare prodotti commerciali di VR.

Il continuo sviluppo e l'applicazione della realtà virtuale in svariati settori sta trasformando il modo in cui interagiamo con il mondo digitale, questa tecnologia ben si presta a riprodurre i modelli tridimensionali di un progetto nel settore delle costruzioni, offrendoci un'immersività che non ha eguali rispetto ai metodi tradizionali di rappresentazione.

Realtà Aumentata (AR)

Contrariamente alla realtà virtuale, la realtà aumentata **sovrappone elementi** digitali al mondo reale, questo è possibile grazie all'utilizzo di dispositivi come **occhiali smart, smartphone e tablet**. In generale, si può affermare che la realtà aumentata è basata sul potenziamento dei sensi, mentre la realtà virtuale sull'alterazione dei sensi.

Il termine "augmented reality" fu coniato negli anni 90 da Thomas Preston Caudell, ricercatore dell'azienda Boeing, che attraverso questo termine descriveva un arricchimento della percezione sensoriale attraverso dei sistemi che sovrapponevano informazioni digitali per guidare il corretto posizionamento di elementi fisici nei lavori di assemblaggio.

Questa tecnologia diverrà in futuro sempre più integrata nella nostra vita quotidiana. Nel campo delle costruzioni assume un ruolo importante in termini di comunicazione, ad esempio, sovrapponendo il modello digitale sul sito di costruzione o accompagnando il cliente nelle scelte durante la fase di progettazione. Svariate possono essere le applicazioni di questa tecnologia nei diversi campi.

Realtà Mista (MR)

La realtà mista (MR) è una tecnologia che **combina** elementi della **realtà virtuale** (VR) e della **realtà aumentata** (AR) per creare esperienze interattive in cui gli oggetti digitali sono integrati e interagiscono con l'ambiente fisico circostante. In altre parole, la MR consente agli utenti di vedere e **interagire** con oggetti digitali che sembrano far parte del mondo reale.

Il termine "realtà mista" è stato introdotto in un documento del 1994 di Paul Milgram e Fumio Kishino, "*A Taxonomy of Mixed reality Visual Display*", dove è stato proposto il concetto di "virtuality continuum". Secondo tale concetto sarebbe dunque possibile posizionare le differenti tecnologie immersive lungo una linea orizzontale che va dall'ambiente fisico a quello

virtuale, la realtà mista viaggia su questa linea orizzontale combinando le diverse realtà.

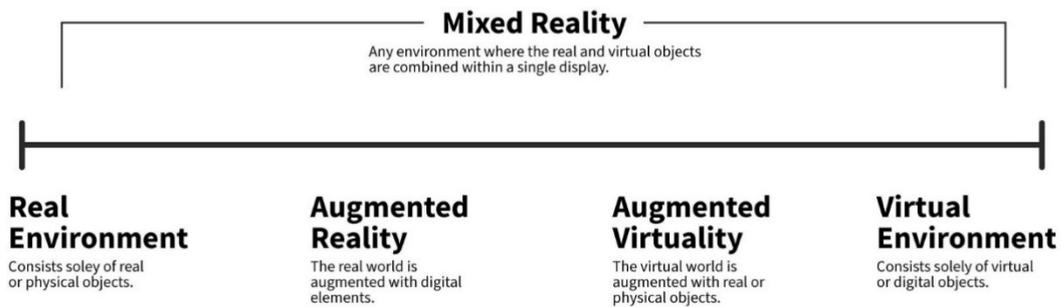


Figura 10: Virtuality Continuum¹³

La realtà mista ha superato la semplice visualizzazione, integrando la comprensione ambientale attraverso sensoristica o telecamere che riescono a mappare l'ambiente circostante e individuare eventuali ancoraggi che ci permettono di posizionare oggetti virtuali su elementi reali, creando appunto un'interazione tra le diverse realtà. Stesso principio della comprensione ambientale avviene anche nella comprensione del corpo fisico che è immerso all'interno della realtà mista, questo avviene attraverso il tracciamento delle mani che possono interagire con gli oggetti virtuali. Non vi sono limiti al tracciamento del corpo fisico, possono essere introdotti sensori che tracciano il movimento oculare, il movimento della bocca e degli arti a seconda dell'interazione uomo-macchina che si vuole ottenere.

¹³ Si veda, <https://www.interaction-design.org/literature/topics/virtuality-continuum>

3.3 Applicazioni nel settore AEC

Grazie ai più recenti progressi della tecnologia, strumenti precedentemente utilizzati solo nel mondo dei videogiochi, possono ora essere utilizzati anche nei campi del **design**, dell'**architettura** e ingegneria.

Queste tecnologie si basano sulle innovazioni apportate al settore dalla modellazione 3D e dalla rappresentazione fotorealistica, che stanno già semplificando notevolmente il lavoro dei tecnici del settore durante la fase di **promozione del progetto**.

Pensiamo ad esempio all'utilizzo di questi strumenti per la visualizzazione di un plastico virtuale che permette anche ai committenti con minor immaginazione di comprendere immediatamente le proposte progettuali diminuendo di fatto tempi e costi nella fase progettuale e offrendo numerosi vantaggi in termini di progettazione, pianificazione, formazione e comunicazione.

Collaborazione e comunicazione

Le tecnologie immersive consentono agli operatori di settore di visualizzare le informazioni digitali direttamente sul sito di costruzione attraverso dispositivi come tablet e occhiali. Questo facilita e semplifica la comunicazione tra le diverse figure professionali che in modo immediato acquisiscono le informazioni. Agli elementi 3d sovrapposti agli elementi fisici esistenti possono essere allegate le schede tecniche e le istruzioni di montaggio degli stessi.

Formazione e sicurezza

Le simulazioni immersive ci permettono di formare in ambiente privo di rischio il personale tecnico che sarà incaricato successivamente all'uso di attrezzature specifiche e complesse e di addestrarsi sulle procedure di

sicurezza. Questo ci permette di eliminare i rischi in fase di formazione, di poter formare il personale a distanza e quindi una riduzione dei costi in questa fase.

Ispezione e manutenzione

Queste tecnologie ci permettono di semplificare le ispezioni dei siti in fase di costruzione dandoci un confronto immediato tra l'elemento progettato sovrapposto agli elementi costruiti. Nelle infrastrutture esistenti ci permette di facilitare l'individuazione di uno specifico elemento architettonico o impiantistico da parte dell'operatore garantendo una manutenzione più efficace in termini di tempo.

Progettazione e presentazione

Durante le fasi di progettazione il modello 3D interattivo potrà essere sottoposto a revisione consentendo sia ai progettisti che ai clienti di esplorare gli edifici virtuali immergendosi al proprio interno per valutarne l'aspetto e le caratteristiche in modo più realistico. Pertanto, Le presentazioni vengono rese in tal modo più coinvolgenti e persuasive.

4 Palazzo Carignano



Figura 11: Palazzo Carignano. Fotografia di Fabrizia Di Rovasenda, 2010. © MuseoTorino -
Soprintendenza per i Beni Storici, Artistici ed Etnoantropologici del Piemonte

Il **Palazzo dei Principi di Carignano**, chiamato comunemente **Palazzo Carignano** è situato nel cuore della città di Torino, ebbe un ruolo cruciale durante il Risorgimento Italiano, testimone delle trasformazioni politiche dell'epoca, fu la sede storica del **Parlamento Subalpino** tra il 1848 e il 1861 e primo **Parlamento del Regno d'Italia** dal 1861 al 1864.

nel 1997 è stato inserito nel sito “Residenze Sabaude” riconosciuto dall'UNESCO come **patrimonio dell'Umanità**.

Oggi il Palazzo ospita due musei.

Al piano terreno gli *Appartamenti dei Principi di Carignano* riaperti al pubblico nel 2011 grazie al sostegno della Compagnia di San Paolo.

L'**Appartamento di Mezzogiorno** con le meravigliose boiserie dorate è aperto stabilmente, mentre saltuariamente è proposta al pubblico la visita dell'**Appartamento di Mezzanotte** e dei suoi saloni, affrescati da Stefano Maria Legnani detto il **Legnanino**.

Al piano nobile è ospitato il **Museo Nazionale del Risorgimento Italiano**.

Palazzo Carignano rappresenta una testimonianza straordinaria di tre secoli di architettura e storia italiana. Dall'innovativa struttura barocca di Guarini, passando per le raffinate trasformazioni settecentesche, fino al solenne ampliamento ottocentesco, l'edificio incarna i cambiamenti politici, culturali e artistici del paese

4.1 Corpo “guariniano” seicentesco

in un periodo di espansione e rinnovamento urbano che la città di Torino stava avendo sotto la guida dei Savoia, **Emanuele Filiberto di Savoia Carignano** commissionò l'opera a **Guarino Guarini**, uno dei più influenti e innovativi architetti dell'epoca.

I lavori iniziarono nel 1679 e furono completati nel 1685. Dal 1694 divenne la residenza stabile dei Principi di Carignano.

Guarino Guarini nel periodo precedente all'avvio del cantiere produce diverse soluzioni planimetriche dell'edificio che culminano nell'ultima soluzione con **prospetto curvilineo** alternato da superfici **concave** e **convexe** in laterizio che rompe la tradizionale linearità delle costruzioni dell'epoca. Questa curvatura, visibile verso Piazza Carignano, dona movimento e profondità all'edificio, dando al tempo stesso un aspetto monumentale e accogliente.

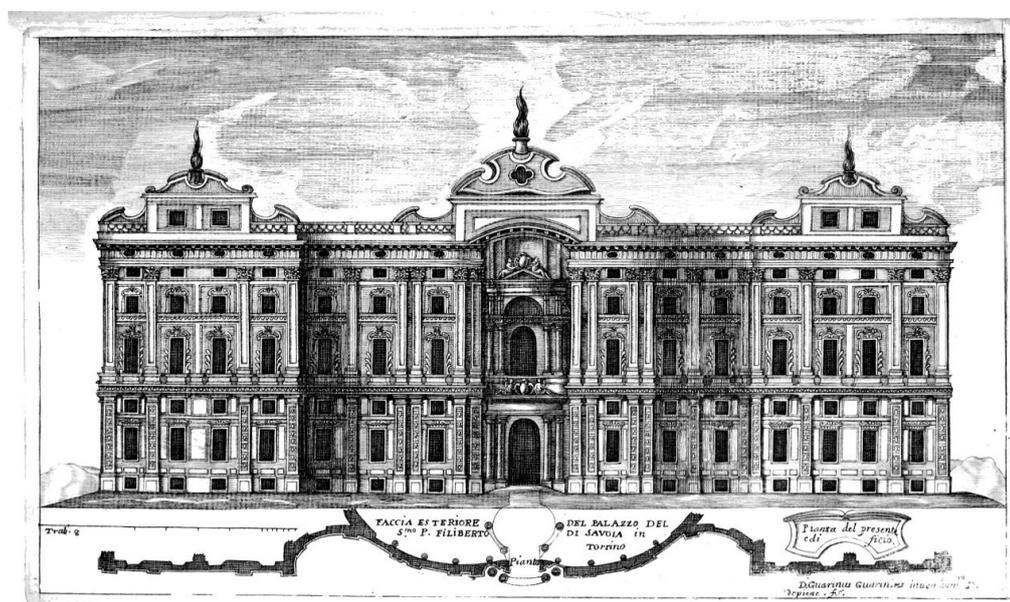


Figura 12: «Faccia esteriore del Palazzo del S.mo P.Filiberto di Savoia in Torino», e «Pianta del presente edificio», incisione in rame di Antonio De Pienne su disegno di Guarini, in *Disegni d' architettura civile et ecclesiastica inventati et delineati dal Padre D. Guarino Guarini modenese de Chierici RegulariTheatini matematico dell'Altezza Reale di Savoia*, cit. (BRT, V 38-39).

Il progetto prevedeva inizialmente una pianta ad **isolato chiuso** poi culminato in una **composizione planimetrica** a "C" aperta verso l'odierna piazza Carlo Alberto, dove si estendevano i giardini e le scuderie.

L'accesso al palazzo e al cortile avviene attraverso un **vestibolo esagonale**, punto di accesso alla maestosa scala principale che segue l'andamento della facciata principale su piazza Carignano. L'atrio e la scala collegano le maniche laterali, quella a nord detta di "**Mezzanotte**" e verso sud detta di "**Mezzogiorno**" e conducono al piano che ospita il celebre "**Salone d'Onore**".

Al pian terreno, nella manica di "Mezzanotte", erano situati gli appartamenti privati del principe e quelli di rappresentanza nella manica di "Mezzogiorno", al piano nobile delle due maniche gli appartamenti dei membri della famiglia.

Tra le peculiarità architettoniche di Guarini c'è l'uso dell'arco rampante e delle colonne sporgenti che sostengono archi e travi in modo innovativo, sfidando le convenzioni costruttive dell'epoca. Questi elementi, presenti in modo evidente nella **scala principale**, sono studiati per creare un senso di leggerezza strutturale che si rivela in contrasto con la robustezza dei materiali utilizzati. La scala diventa così un esempio di sperimentazione ingegneristica e artistica, dove ogni elemento è sia decorativo che funzionale.

L'opera di Guarino Guarini a Palazzo Carignano rappresenta uno dei capolavori dell'architettura barocca italiana. Palazzo Carignano non solo riflette la grandezza della famiglia Savoia, ma incarna anche l'ingegno e la sensibilità artistica di Guarini, che con questa opera ha contribuito a definire l'identità architettonica di Torino.

Le decorazioni interne di Palazzo Carignano sono in gran parte opera di artisti della cerchia di Guarini, che seguono il suo stile barocco, caratterizzato da boiserie, specchi e affreschi. Le "**Sale Dorate**" sono una testimonianza della sua attenzione al dettaglio e della sua passione per il decorativismo.

4.2 Appartamento dei principi

L'Appartamento dei Principi, di Carlo Alberto e della moglie Maria Teresa d'Asburgo Lorena, situato al pianoterra dell'ala verso sud del palazzo, è uno spazio che riflette l'evoluzione decorativa e stilistica della dimora sabauda. Inizialmente concepito come spazio di rappresentanza, venne arricchito nel corso del tempo di tessuti pregiati e decorazioni pittoriche. Di particolare pregio sono le decorazioni delle **Sale Dorate**, tra cui la **Sala delle Battaglie** e la **Sala delle Stagioni**, opere elaborate con una ricchezza stilistica che combinava elementi barocchi e neoclassici. Questi ambienti esibiscono specchi, affreschi e boiserie dorate, testimonianza dell'opulenza sabauda.

Nel corso del Settecento, sotto la direzione di artisti come **Francesco Borello** e **Stefano Maria Legnani** (detto il Legnanino), l'Appartamento dei Principi si arricchì di scene allegoriche e mitologiche, riflettendo il gusto del tempo. Le pareti erano adornate con raffinate stucchi, specchi e stucchi dorati che riproducevano temi celebrativi della dinastia, mentre soffitti affrescati rappresentavano figure come Apollo e Diana.

Con l'ascesa al trono di Carlo Alberto nel 1832 e trasferiti a Palazzo Reale, Palazzo Carignano viene ceduto al demanio dove si insediano uffici pubblici, tra cui le **Regie Poste** e lo **Stato Maggiore Generale** comportando rimaneggiamenti degli spazi ad eccezione dell'appartamento nuziale. Questa eccezione, probabilmente dettata da motivi affettivi, determina il mantenimento dell'integrità delle decorazioni dorate.

Fin dall'origine l'ingresso principale, dall'atrio del palazzo, conduce direttamente a quella che era la **Sala dei Valletti a Piedi**, oggi priva di arredi originali e comunicante con la **Sala dei Paggi**. Questi due ampi saloni verso il cortile fungevano da anticamera alle sale di rappresentanza successive. Dalla Sala dei Paggi si accede prima alla **Sala delle Battaglie**,

poi alla **Sala delle Stagioni** che seguono le stanze ad uso privato, la Camera da Letto e le stanze verso la facciata.

Gli arredi e le decorazioni presenti oggi nel percorso museale del palazzo sono il risultato di restauri e adeguamenti volti a riportare alla luce lo splendore originale di questi ambienti, che rappresentano uno dei fulcri simbolici della storia sabauda e risorgimentale di Palazzo Carignano.



Figura 13: Palazzo Carignano, fotografia della Sala delle Stagioni di Paolo Mussat Sartor e Paolo Pellion di Persano, 2010. © MuseoTorino-Soprintendenza per i Beni Storici, Artistici ed Etnoantropologici del Piemonte.

4.3 Periodo settecentesco

Il Settecento rappresenta per il Palazzo Carignano un periodo di particolare importanza architettonica e decorativa, caratterizzato da interventi significativi che coinvolgono tanto la struttura architettonica quanto l'apparato decorativo.

Durante il Settecento, si sviluppano diverse **soluzioni progettuali** per le **scuderie** del Palazzo Carignano. Tra i progetti più rilevanti si annoverano quelli firmati da **Giovanni Battista Ferroggio**, che propone una disposizione delle scuderie in relazione all'area del giardino, ponendo enfasi sulla funzionalità e sull'armonia con il contesto naturale. Un'altra proposta, attribuita a **Filippo Castelli**, evidenzia l'uso del linguaggio barocco piemontese e la coerenza con le forme monumentali del palazzo.

Le scuderie non erano solo aree funzionali, ma riflettevano l'estetica dell'epoca, con un'equilibrata distribuzione degli spazi e una continuità stilistica con l'edificio principale. Alcuni disegni, come quelli che includono cancellate e ingressi monumentali, suggeriscono l'intento di creare una scenografia che integrasse il palazzo, le scuderie e il giardino.

Il giardino del palazzo riveste un ruolo cruciale nel progetto complessivo, rispecchiando le tendenze estetiche dell'epoca. I documenti riportano che **Bernardo Vittone** fu incaricato di progettare una **cancellata** che separasse il cortile dal giardino. La cancellata, progettata in legno, seguiva una linea semicircolare e conferiva al giardino un aspetto armonioso in linea con lo stile barocco.

La supervisione del giardino viene affidata a Emanuele Filiberto di Carignano, che probabilmente si ispirò alle tendenze paesaggistiche francesi, allora molto in voga.

Oltre agli interventi strutturali, il Settecento vide anche un **arricchimento decorativo** degli interni del Palazzo. Particolarmente notevole è il **Salone**

delle Feste, decorato per eventi importanti come il ballo per le nozze di Vittorio Amedeo III con Maria Ferdinanda di Spagna. Un'incisione dell'epoca raffigura il salone gremito di ospiti, sottolineando l'importanza di tali spazi per la vita di corte e il loro ruolo rappresentativo.

Il Settecento fu un periodo di grande trasformazione per il Palazzo Carignano, con interventi che ne consolidarono la funzione simbolica e rappresentativa. Le opere degli architetti dell'epoca, ispirate a influenze francesi e barocche, arricchirono il complesso di elementi decorativi e strutturali che ancora oggi testimoniano il prestigio e la raffinatezza della corte sabauda. La combinazione di giardini monumentali, scuderie eleganti e decorazioni interne sfarzose riflette la volontà di fare del Palazzo Carignano un **simbolo** duraturo del **potere** e della **cultura** del periodo settecentesco.

4.4 Corpo ottocentesco

L'Ottocento rappresenta un periodo di grande trasformazione per il Palazzo Carignano. In seguito alla Seconda Guerra di Indipendenza e all'annessione del Piemonte al Regno d'Italia, Torino si trovò improvvisamente al centro delle nuove funzioni governative e parlamentari del paese. Questa nuova centralità politica richiedeva l'adeguamento e l'espansione di edifici simbolo come il Palazzo Carignano, destinato a ospitare il **Parlamento Subalpino** e, successivamente, la **Camera dei deputati del Regno d'Italia**. Di conseguenza, il palazzo subì modifiche importanti per rispondere alle necessità funzionali e rappresentative dell'epoca.

Nel 1859, il Consiglio Comunale di Torino, con il sostegno di Camillo Cavour, incaricò una commissione di esperti per valutare le modifiche necessarie al Palazzo Carignano. La nuova configurazione doveva garantire spazi adeguati alle funzioni parlamentari, ma al contempo rispettare l'architettura guariniana. Tra gli architetti coinvolti, **Domenico Ferri** e **Giuseppe Bollati** presentarono un progetto che prevedeva la costruzione di un **nuovo corpo**, in stile neoclassico, da affiancare al corpo originario del palazzo progettato da Guarino Guarini nel XVII secolo. Questa proposta, approvata ufficialmente il 12 gennaio 1864, introduceva un ampliamento monumentale in linea con i dettami architettonici dell'epoca.

La **facciata** del nuovo corpo verso Piazza Carlo Alberto si distinse per il suo **stile classicheggiante**, caratterizzato da un ordine severo e simmetrico, che si armonizzava con il rigore dell'architettura neoclassica.

La struttura era composta da piani distinti, con l'uso di colonne e decorazioni che riprendevano il linguaggio architettonico classico, enfatizzando il carattere istituzionale della nuova funzione parlamentare.



Figura 14: Palazzo Carignano, progetto per il prospetto su Piazza Carlo Alberto. © Archivio Storico della Città di Torino

L'aggiunta del nuovo corpo includeva la costruzione di una grande aula per ospitare la **Camera dei deputati**. L'aula fu progettata come un vasto spazio rettangolare di circa 646 metri quadri, con un'altezza di oltre 23 metri, in grado di accogliere una numerosa platea di deputati e un pubblico composto da alte cariche dello Stato e cittadini. Gli affreschi e le decorazioni interne, affidati a **Francesco Gonin**, **Pasquale Orsi** e **Giuseppe Bollati**, celebravano l'unità d'Italia e la grandezza della nuova Nazione, con raffigurazioni allegoriche della Giustizia, della Scienza, della Legge e dell'Agricoltura.

La trasformazione del Palazzo Carignano nel corso dell'Ottocento interessò anche l'area di Piazza Carlo Alberto, che venne ridisegnata per creare un adeguato contesto urbano intorno al nuovo corpo del palazzo. Fu **Roberto d'Azeglio** a proporre un progetto che prevedeva la costruzione di un monumento in onore di Carlo Alberto, circondato da una piazza perimetrata

da portici e gallerie. Questo spazio pubblico non solo celebrava la figura di Carlo Alberto, ma fungeva anche da fulcro sociale e culturale per la città di Torino, garantendo un passaggio continuo tra il palazzo e la vita urbana circostante.

Il progetto per la piazza, completato tra il 1859 e il 1861, comprendeva anche la costruzione della **Galleria Subalpina**, una galleria coperta in ferro e vetro, ispirata ai grandi passaggi parigini, che collegava Piazza Carlo Alberto con Piazza Castello.

Le modifiche apportate al palazzo e alla piazza non solo rispondevano alle necessità del nuovo stato italiano, ma testimoniavano anche la capacità della città di evolversi, abbracciando elementi architettonici moderni pur mantenendo un profondo rispetto per le strutture storiche esistenti. L'ampliamento del corpo guariniano e la costruzione della Galleria Subalpina contribuirono a definire un nuovo volto per Torino, segnando un equilibrio tra tradizione e innovazione che ancora oggi si riflette nella struttura del Palazzo Carignano e nei suoi spazi circostanti.

5 Workflow H-BIM

Il processo di restituzione digitale dell'elemento impiantistico parte dalla definizione del **BEP**, che, attraverso l'identificazione degli obiettivi, di fatto simulando una commessa, ci permette di pianificare preventivamente le fasi di lavoro definendo i metodi di **condivisione** e i **LOD** di dettaglio utili, evitando la sovrabbondanza di informazioni non necessarie.

L'obiettivo è quello di restituire il modello "**As Built**" impiantistico di una porzione di Palazzo Carignano, individuando i dati necessari da restituire in formato **IFC** per poter generare un **ecosistema** utile al facility manager per lo sviluppo di **applicativi** di realtà aumentata e virtuale utili alla fase di **gestione** futura.

La condivisione dei dati avviene attraverso l'utilizzo di una cartella condivisa Dropbox, un servizio di archiviazione cloud che permette di salvare, condividere e sincronizzare file online, accessibili da diversi dispositivi.

5.1 Definizione del Livello di dettaglio (LOD)

Definiti gli obiettivi, si stabilisce il Livello di dettaglio (LOD) in conformità alla norma **UNI 11337-4:2017**. Per restituire l'informazione geometrica e informativa di ogni componente rilevato si sceglie il **LOD F**.

Secondo la normativa, l'oggetto digitale segue un livello di definizione avanzato della geometria, rispecchia l'oggetto costruito e verificato sul luogo e contiene le informazioni quantitative e qualitative dello stesso. Sono integrate, inoltre, informazioni sugli interventi futuri di gestione, manutenzione, riparazione e sostituzione da eseguirsi durante tutto il ciclo di vita dell'opera. Il LOD definito è dato dalla somma delle **caratteristiche geometriche (LOG)** e di quelle **informative (LOI)**.

$$\text{LOD} = \text{LOG} + \text{LOI}$$

Questo ci permette di definire, con più chiarezza, quale sarà il livello di sviluppo specifico della commessa, essendo il livello informativo molto variabile questa fase è indispensabile per definire gli obiettivi.

Viene riportata di seguito, a titolo esplicativo, una scheda di definizione del LOD.

Nome Famiglia	Quadro elettrico		
Categoria famiglia	Attrezzatura elettrica		
LOD	F		
LOG	Livello di dettaglio	Descrizione	Rappresentazione
	Basso	Simbolo 2D	

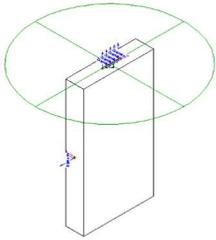
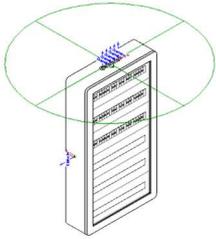
	Medio	Ingombro	
	Alto	Definito	
LOI	Nome Parametro		Formato
	ID		intero
	Rilevato		True / false
	URL Scheda Tecnica		URL
	QR Scheda tecnica		png / jpeg
	Simbolo elettrico		png / jpeg
	Dati elettrici		W / V
	Data installazione		(aaaammgg)
	Cadenza revisione		(g)
	Cadenza sostituzione		(g)
	Descrizione revisione		Stringa
	Da revisionare		True / false
	Da sostituire		True / false
	Data ultima revisione		(aaaammgg)
	Data prossima revisione		(aaaammgg)
	Costo revisione		€
	Costo sostituzione		€
	Data previsione costi		(aaaammgg)
	N° revisioni		Intero
	N° sostituzioni		Intero
	Costo previsto revisione		€
Costo previsto sostituzione		€	

Figura 15: Scheda LOD del Quadro elettrico.

5.2 Rilievo

La fase di rilievo delle “stanze dorate” è avvenuta in concomitanza con il rilievo tramite strumentazione laser scanner effettuato dai dottorandi alle prese con il rilievo delle decorazioni della sala delle stagioni.



Figura 16: Scatto personale della fase di rilievo.

La prima fase conoscitiva dell’ambiente di lavoro ha permesso il rilevamento degli **impianti elettrici** attraverso un **approccio diretto**.

In questa casistica, lo strumento più utile al rilevamento, è stato il **metro a nastro**, grazie al quale è stato possibile segnare su di una planimetria rilevata e disegnata a mano, la posizione puntuale dei dispositivi corredata da documentazione fotografica utile in una fase successiva di restituzione dei modelli.

Durante la fase di rilievo si è anche tentato l'utilizzo di un dispositivo con tecnologia di **rilevamento di calore** per rilevare eventuali impianti di riscaldamento o in fase di carico facilitare l'individuazione di cavi elettrici.

Questo ci ha permesso di constatare la sola presenza dell'impianto elettrico all'interno di questi ambienti.

5.3 Restituzione del modello architettonico

La **restituzione del modello** architettonico di Palazzo Carignano, utile al lavoro di implementazione del modello elettrico, è stata agevolata dai rilievi e dalle restituzioni dei modelli realizzati da altri tesisti, grazie ai quali è stato possibile confrontare il rilievo in situ e utilizzarli come base per ridefinire gli spazi sui quali viene restituito il modello impiantistico.

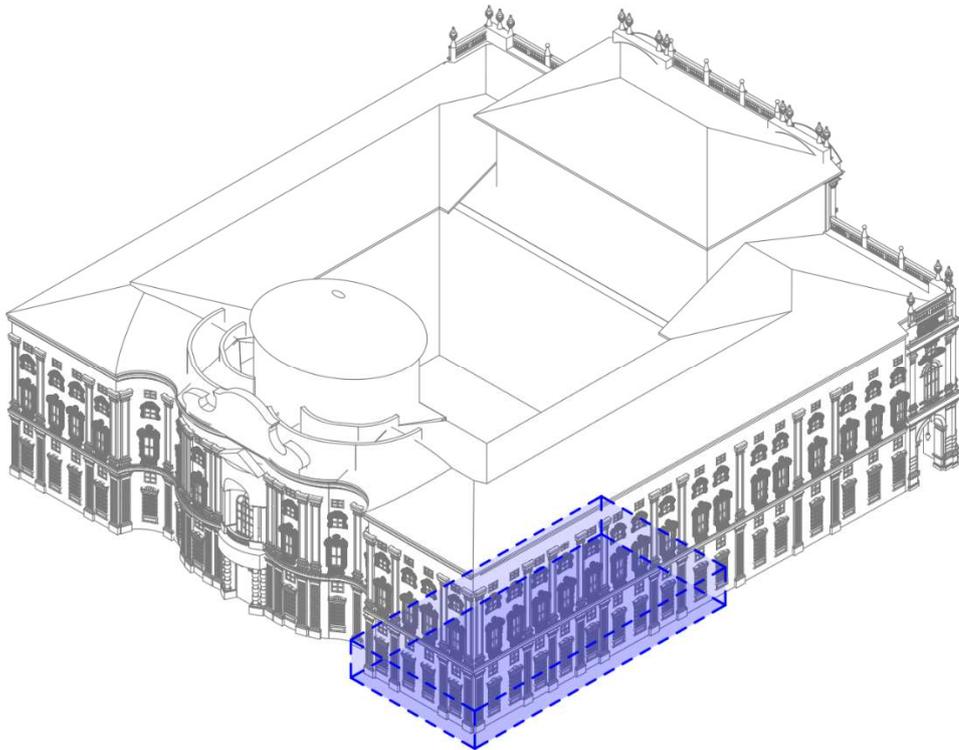


Figura 17: Focus della porzione di lavoro su vista assonometrica del modello tridimensionale di Palazzo Carignano.

La porzione evidenziata è l'area di lavoro dove è stato eseguito il rilievo per l'individuazione dei dispositivi elettrici esistenti.

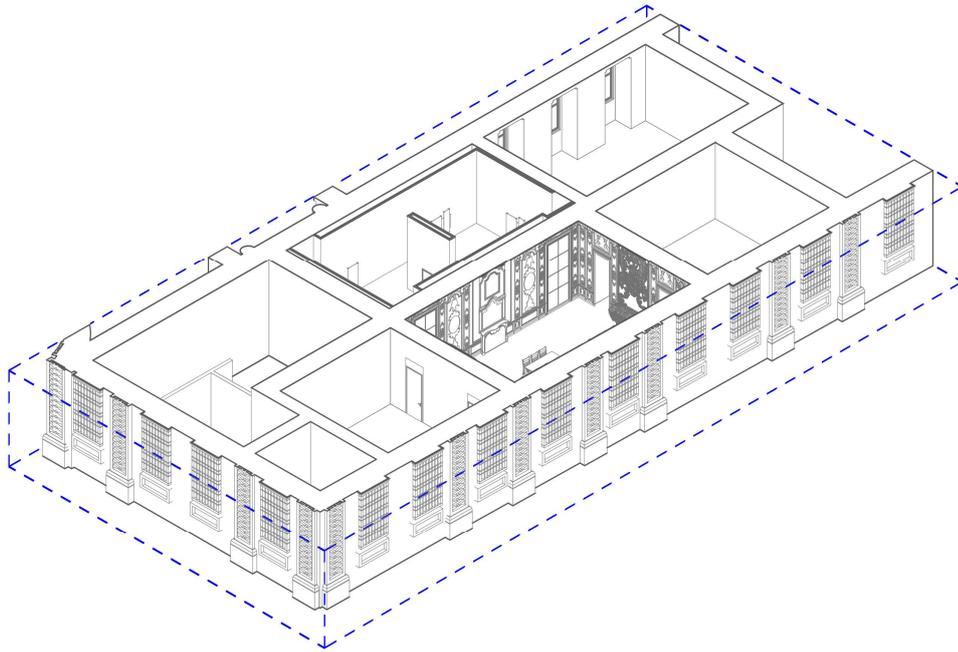


Figura 18: Focus di dettaglio degli spazi modellati, spaccato assometrico.

Dato l'obbiettivo della tesi, che prevede l'utilizzo di un'applicazione di realtà virtuale, vi è stata la necessità di modellare lo spazio architettonico in previsione dell'applicativo.

Si è proceduto, quindi, ad esaminare i modelli architettonici esistenti, ad individuare gli elementi mancanti, quelli da **semplificare**, **modificare**, **migliorare** e all'eliminazione delle decorazioni, ritenute superflue allo scopo. Questo ha permesso di ottenere un modello architettonico pulito che funge da supporto e non ostacola la visualizzazione dell'elemento impiantistico all'interno dell'applicativo.

Alcuni elementi mancanti come i passaggi tra le stanze sono stati inseriti e le nicchie degli infissi semplificate e migliorate per poter rappresentare al meglio il solo volume architettonico.

Il lavoro ha comportato la **rielaborazione** della famiglia degli **infissi**, in cui sono stati aggiunti gli **sguinci** della muratura e gli eventuali **gradini** presenti in alcune nicchie attraverso un **parametro istanza** che ci consente

di impostare un valore booleano di visibilità dello scalino nelle proprietà del singolo elemento, oltre che ai **parametri di tipo** per settare le varie dimensioni che disegnano l'apertura.

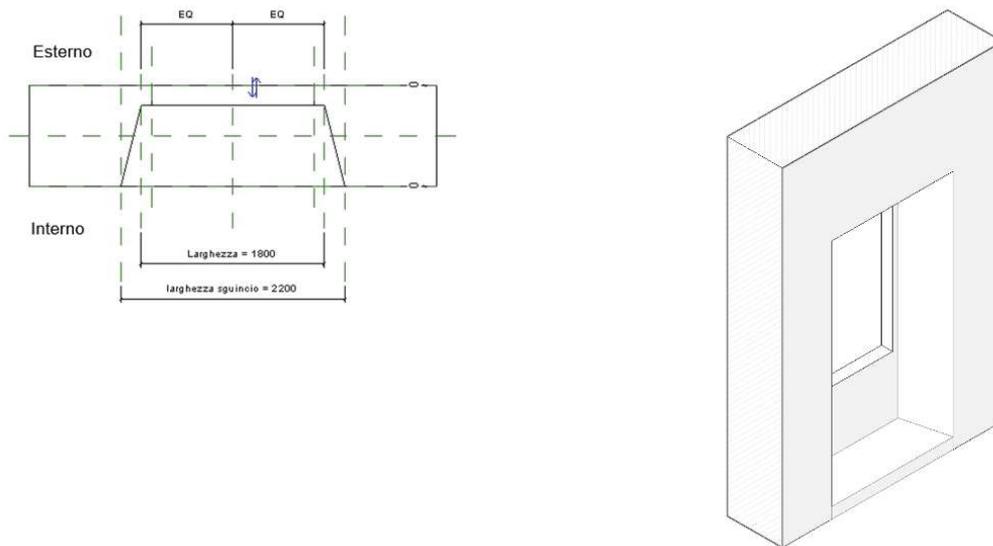


Figura 19: Rappresentazione planimetrica e assonometrica della famiglia infisso.

Altro elemento **implementato**, non presente in tutti gli spazi, per lo sviluppo di un modello architettonico coerente, è stata la **volta a schifo**, questa tipologia di volta è molto comune in ambienti storici dove spesso si richiede un collegamento armonioso tra muri di differenti altezze o forme.

Vi è stata quindi la necessità di sviluppare una **famiglia parametrica** da poter **adattare** in ogni spazio tramite dei **punti adattivi**, questo ha permesso lo sviluppo di una volta a schifo che attraverso dei parametri di tipo ci permette di gestire l'**imposta** della volta, lo **spessore**, l'**altezza massima dell'intradosso** (freccia o monta) e il **raggio delle costole**.

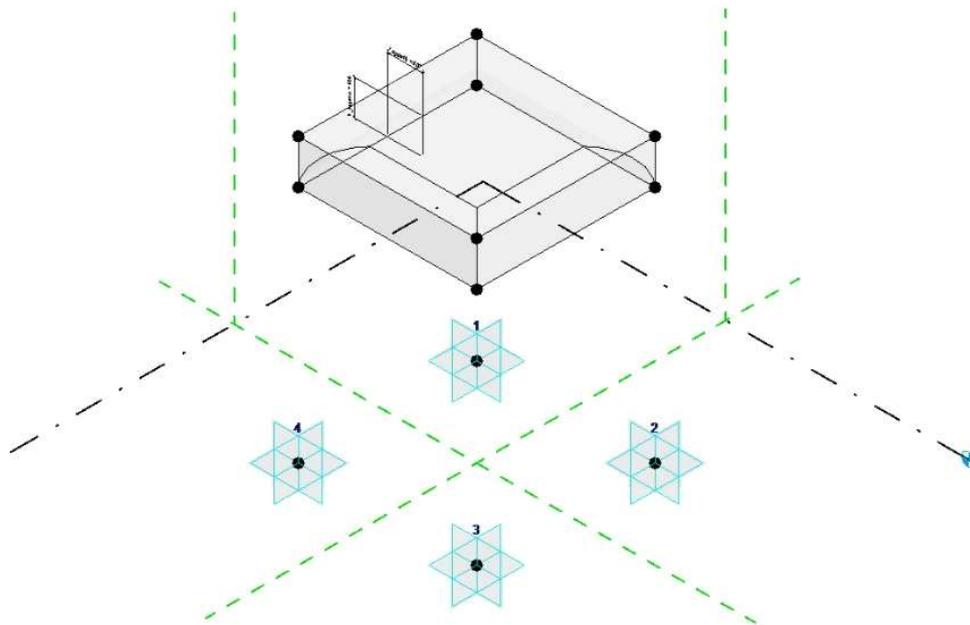


Figura 20: Vista assonometrica della famiglia volta a schifo.

Il risultato ottenuto dalla semplificazione de modello architettonico e dall'aggiunta delle famiglie ci permette di avere un modello utile alla sovrapposizione dell'elemento impiantistico elettrico.

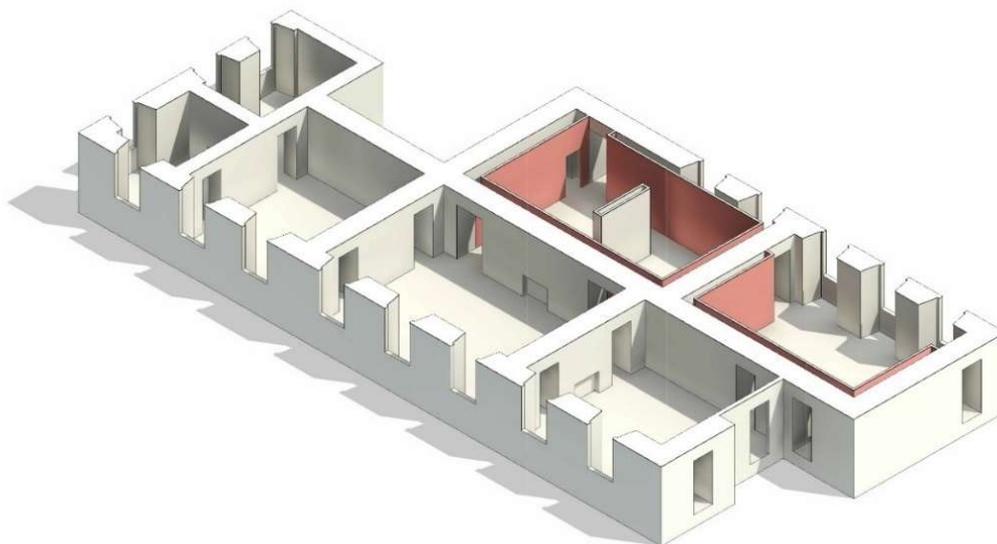


Figura 21: Spaccato Assonometrico del modello architettonico ridefinito.

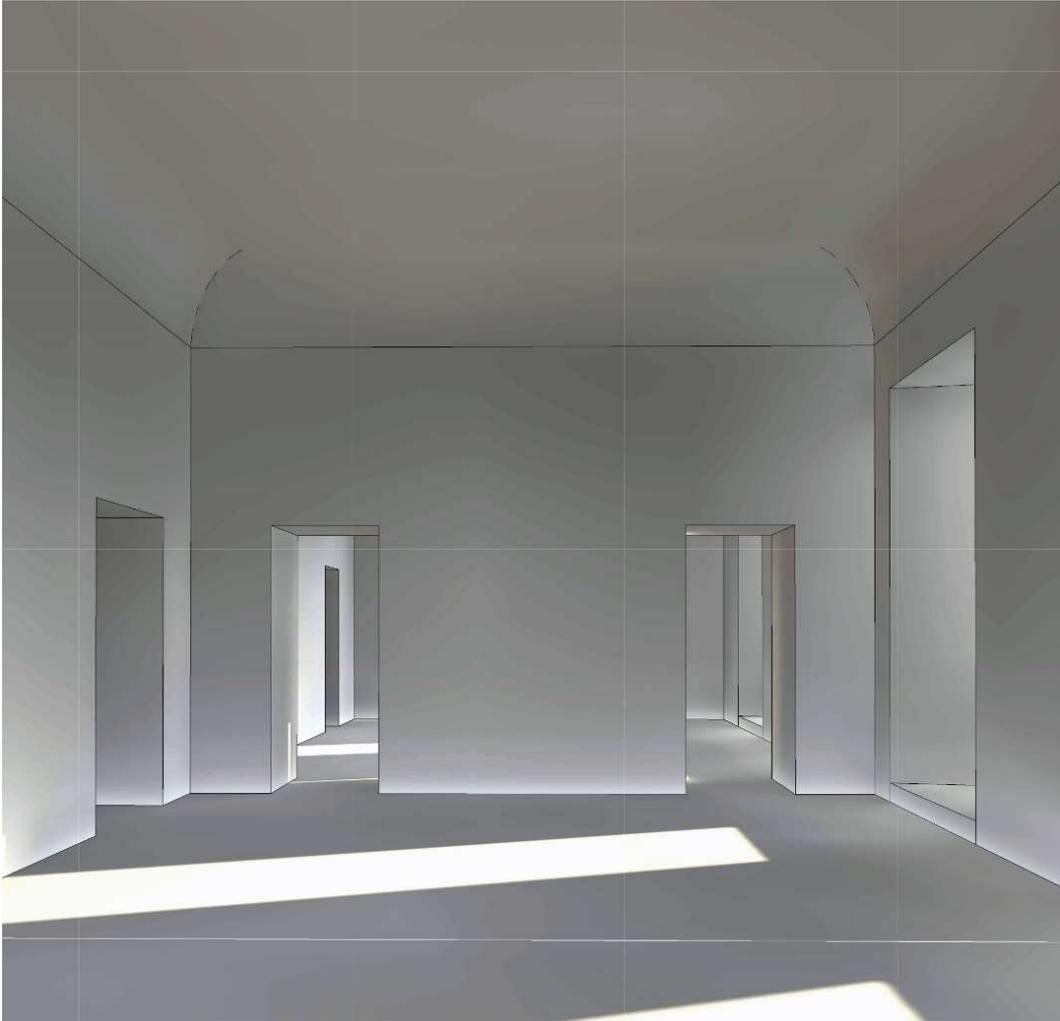


Figura 22: Vista interna del modello architettonico ridefinito.

5.4 Restituzione del modello elettrico

Per la restituzione del modello elettrico è necessaria la creazione di un nuovo file Revit **Elettrico_Carignano.rvt** partendo da un file di modello elettrico.

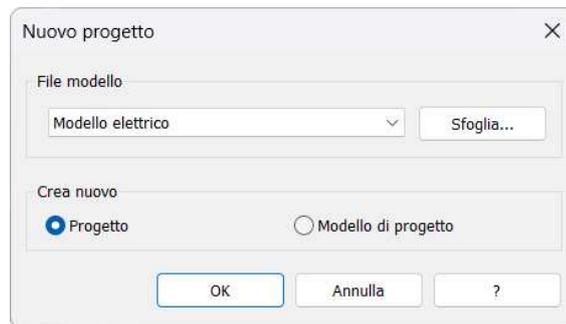


Figura 23: Schermata nuovo progetto Revit®

Gli strumenti che ci offre Revit per la modellazione e il popolamento di dati dei modelli elettrici sono molteplici.

Le impostazioni di base del template elettrico sono settate su **standard americani**, quindi, il primo passo per poter settare un ambiente ottimizzato per i nostri standard è **modificare** le **impostazioni elettriche**.

Questo ci permette di definire le giuste **tensioni** elettriche che in Europa si attestano a **230 V**.

La tensione utilizzata in America si attesta a **120 V**, un tipo di tensione più bassa rispetto allo standard europeo, considerata più sicura in termini di rischio di folgorazione, ma che richiede cavi con sezione maggiore per sostenere la stessa potenza rispetto a un sistema a 230 V che risulta essere più efficiente nel trasporto riducendo le perdite di trasmissione.

Per poter definire le nuove tensioni bisogna eliminare i **sistemi di distribuzione** esistenti, eliminati questi possono essere definiti i nuovi valori di tensione.

In questa casistica vengono utilizzati due sistemi di distribuzione a **bassa tensione, monofase e trifase**, quindi, vengono settati i valori di tensione e distribuzione.

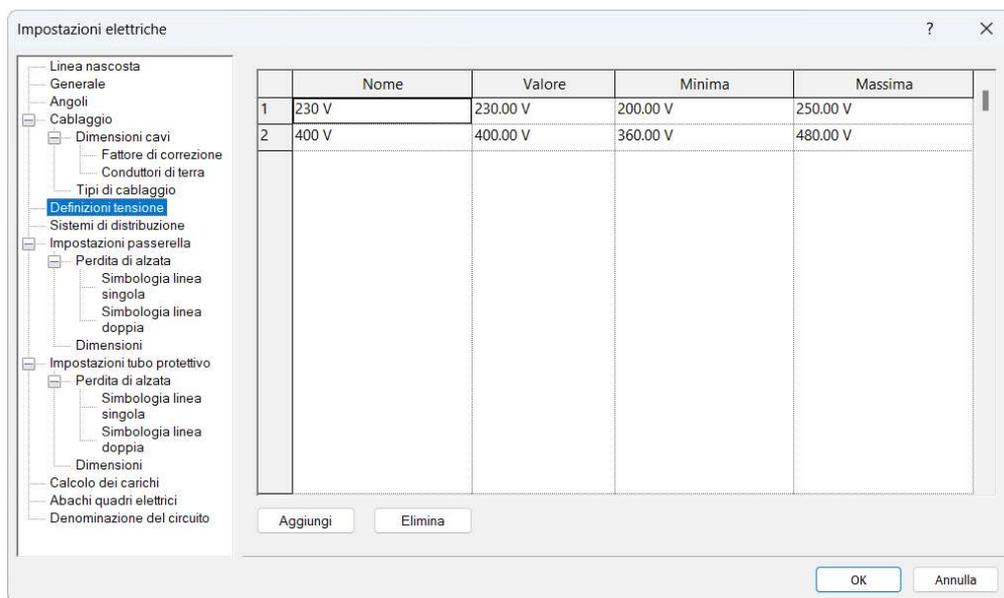


Figura 24: Schermata ambiente Revit® di definizione delle tensioni.

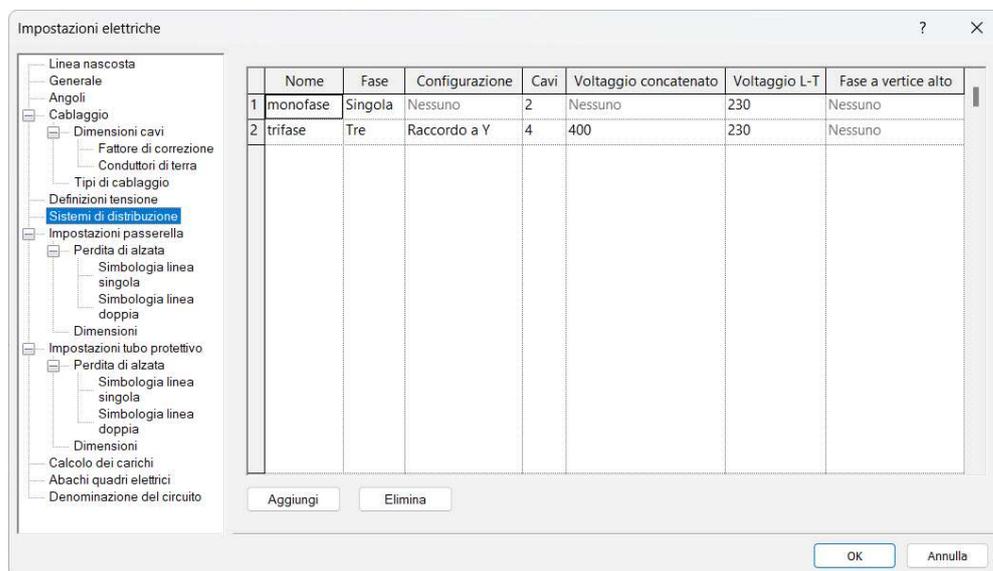


Figura 25: Schermata ambiente Revit® di definizione dei sistemi di distribuzione.

Il modello architettonico, **Architettonico_Carignano.rvt**, precedentemente definito, viene **collegato** all'interno del modello elettrico. Questo ci permette di avere la base sulla quale posizionare i dispositivi elettrici rilevati.

Settate le impostazioni elettriche e collegato il modello architettonico si procede a **modellare** e **associare i dati** ai dispositivi.

Attraverso la documentazione fotografica dei dispositivi è stato possibile riconoscerne il **fornitore** e il **modello**, ricavando, dove presenti, le **schede tecniche** di prodotto e quindi le informazioni sui **dati elettrici** e sulle **caratteristiche dimensionali**.

Il riconoscimento di questi dispositivi è stato facilitato dall'utilizzo di **Google Lens**, applicazione di ricerca web sviluppata da Google.

Ogni famiglia modellata attraverso l'editor di Revit viene categorizzata attraverso una **categoria**, elemento fondamentale per **organizzare**, **classificare** gli elementi in base alla loro funzione e gestire le informazioni relative ai vari componenti di un progetto.

Le **categorie di modello** presenti in Revit, filtrate per la disciplina elettrica, sono molteplici.

Per il lavoro di tesi, nello specifico, vengono utilizzate le seguenti categorie di modello che raggruppano al loro interno le differenti famiglie rilevate:

- **Attrezzatura elettrica:** quadro generale;
- **Apparecchi elettrici:** prese civili, prese industriali, dimmer;
- **Apparecchi per illuminazione:** interruttori, corpi illuminanti;
- **Dispositivi allarme incendio:** rilevatori di fumo, pulsanti di allarme, segnalatori ottici e acustici;
- **Tubi protettivi;**
- **Raccordi tubo protettivo;**

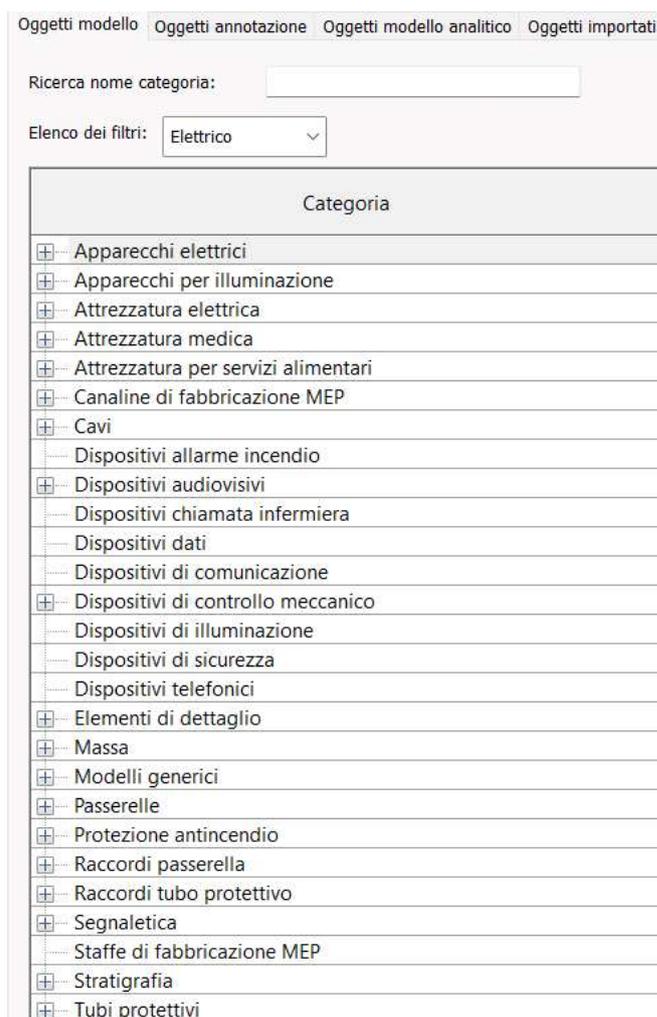


Figura 26: Schermata ambiente Revit® della lista delle categorie elettriche presenti.

Prima di modellare una famiglia viene definito il **livello di dettaglio**. Questo ci permette di visualizzare l'oggetto in base alle necessità di rappresentazione, attraverso tre visualizzazioni di dettaglio, **bassa**, **media** e **alta**.

Nello specifico, come già definito precedentemente nelle schede LOD, sono stati seguiti per tutte le famiglie riprodotte i seguenti livelli di dettaglio:

- **Basso:** Livello utile alla rappresentazione in pianta, l'elemento viene visualizzato in 2D attraverso il simbolo di annotazione associato.

- **Medio:** Livello di visualizzazione intermedio per la visualizzazione 2D e 3D, l'elemento viene riprodotto tridimensionalmente con un volume che rappresenta il solo ingombro dell'oggetto.
- **Alto:** Livello di visualizzazione 2D e 3D, l'elemento viene visualizzato con tutti i dettagli ad esso associato.

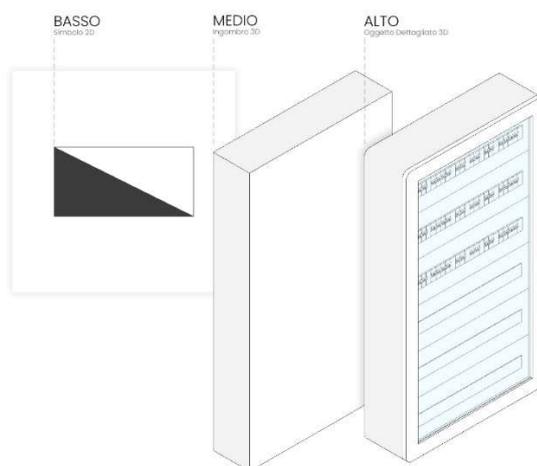
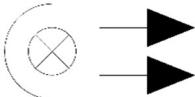


Figura 27: Rappresentazione dei livelli di dettaglio del quadro elettrico.

Definite le regole dei livelli di dettaglio, vengono generati tutti i **simboli di annotazione** dei dispositivi elettrici secondo la normativa di riferimento che ne indica la giusta rappresentazione.

La generazione dei simboli e la loro associazione alla famiglia di appartenenza, ci permette di avere una rappresentazione simbolica sempre leggibile alle differenti scale.

Questi simboli vengono quindi caricati nella famiglia di appartenenza per la visualizzazione di **dettaglio basso**.

Nome dispositivo	Simbolo elettrico
Quadro elettrico	
Presà elettrica	
Presà industriale	
Dimmer	
Faro	
Lampadario	
Luce emergenza	
Proiettore	
Centrale antincendio	
Pannello luminoso/sonoro	

Pulsante emergenza	
Rilevatore fumo	

Figura 28: Lista dei simboli elettrici associati alle famiglie.

Le famiglie elettriche modellate e definite per categoria possono essere connesse tra loro attraverso l'utilizzo, nell'editor di Revit, dello strumento **connettori**.



Figura 29: Schermata ambiente Revit® Strumento connettori.

Questi fungono da elementi di **connessione** tra i vari elementi che costituiscono un impianto, creano collegamenti funzionali che consentono di definire il flusso di energia, segnale o altre informazioni utili tra i componenti.

Nella progettazione elettrica, questi connettori sono fondamentali per definire la rete di distribuzione elettrica all'interno di un edificio, ma in questa specifica situazione l'utilizzo di queste connessioni serve solo per definire i **circuiti esistenti** e poterli classificare attraverso degli **abachi**.

Le tematiche progettuali legate al calcolo e all'analisi per il dimensionamento dei cavi, al loro bilanciamento per ottimizzarne le prestazioni e alla gestione

delle interferenze sono tralasciate in quanto pertinenti a un lavoro di progettazione specifico.

In questo lavoro di tesi ci limitiamo alla **restituzione** tridimensionale dei dispositivi elettrici, all'**identificazione** dei **circuiti**, all'associazione dei **dati elettrici** attraverso parametri e alla connessione dei condotti per restituire il **percorso** dei **cavi** esistente.

Si è potuto procedere, quindi, a definire tutte le famiglie dei dispositivi elettrici rilevati.

5.4.1 Costruzione delle famiglie elettriche

Per poter creare una nuova famiglia in Revit vi è la necessita di impostare, come detto precedentemente, la **categoria** di appartenenza.

In questo esempio di costruzione della famiglia “**quadro elettrico**”, questa rientra nella categoria delle **attrezzature elettriche**, selezionato il template di questa categoria si è proceduto alla modellazione dell’oggetto ai diversi livelli di dettaglio caricando all’interno della famiglia il simbolo elettrico associato per la visualizzazione in pianta ad un livello di dettaglio basso.

Viene successivamente modellato l’oggetto attraverso l’utilizzo dello strumento **forme** nell’editor di Revit che ci permette di ottenere il risultato di dettaglio desiderato.

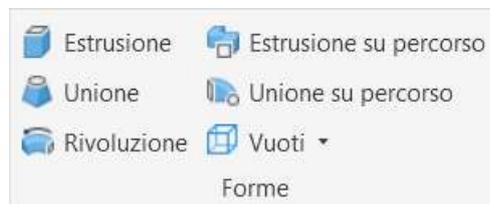


Figura 30: Schermata ambiente Revit® strumento Forme.

Modellato l’oggetto, viene associato il **connettore elettrico**, componente essenziale per definire l’appartenenza di un dispositivo ad un circuito.

Il componente connettore elettrico ci permette di settare diversi parametri, come il **numero di poli** che definisce un sistema monofase (1 polo) o trifase (3 poli), il **voltaggio** e la **classificazione del carico** che ci permette di raggruppare dispositivi elettrici simili come quelli di **alimentazione** e **illuminazione** all'interno degli abachi.

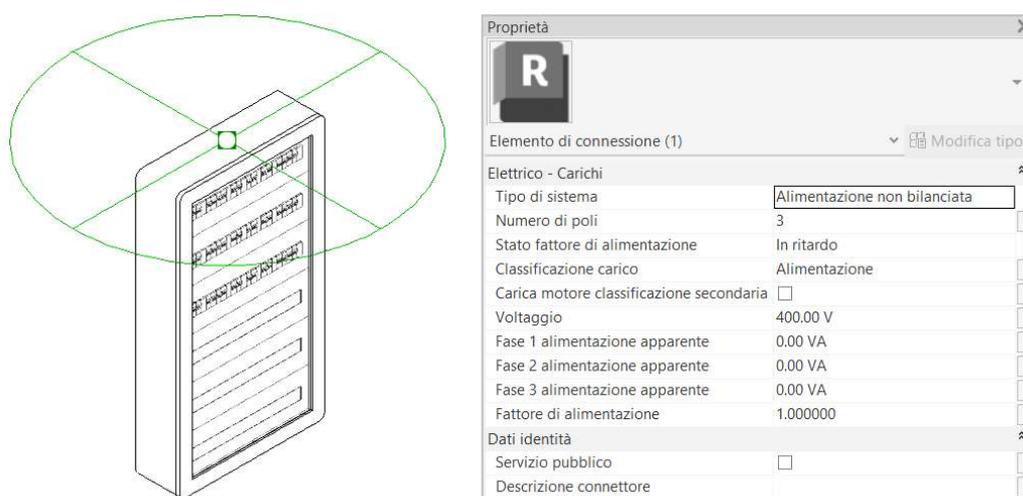


Figura 31: Schermata delle proprietà del componente connettore e rappresentazione assonometrica del quadro elettrico con simbolo del connettore elettrico.

Altro connettore da associare alla famiglia è quello utile al collegamento dei **tubi protettivi**, questo ci permette di collegare le famiglie elettriche tra di loro attraverso elementi tubolari che simulano elementi come **corrugati** o altre tipologie di protezione per il passaggio dei cavi elettrici.

Per definire il diametro del connettore viene aggiunto un parametro di tipo, inoltre, viene associato ad ogni componente che compone il dispositivo il materiale corrispondente.

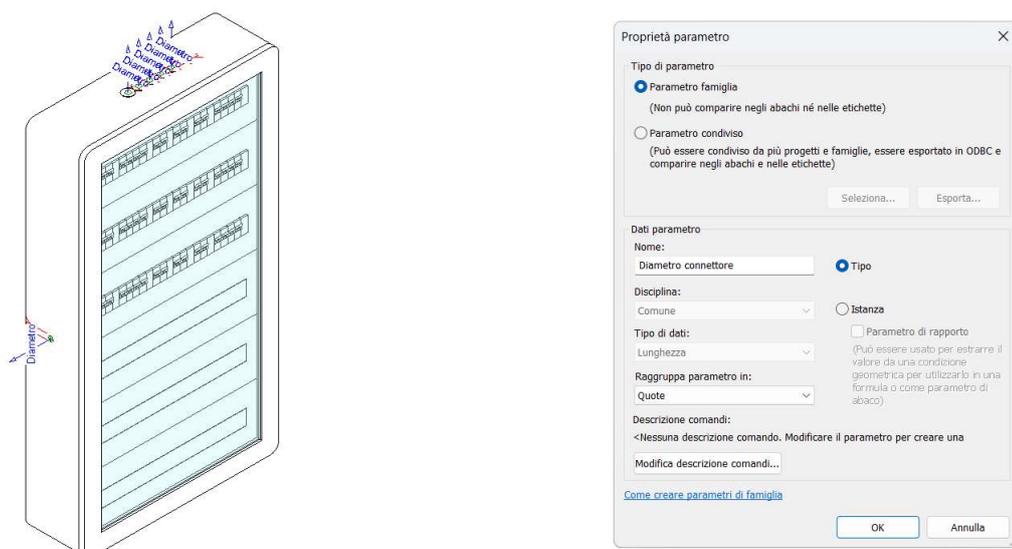


Figura 32: Schermata delle proprietà del parametro di Tipo per la definizione del diametro del tubo protettivo e rappresentazione assonometrica del quadro elettrico con i simboli associati del connettore tubo protettivo.

Seguendo questo sviluppo di costruzione delle famiglie vengono definiti tutti i dispositivi elettrici rilevati, e, all'occorrenza, associati dei **parametri dimensionali** per definire i diversi **tipi** appartenenti alla stessa famiglia, come, ad esempio, la famiglia delle prese elettriche.

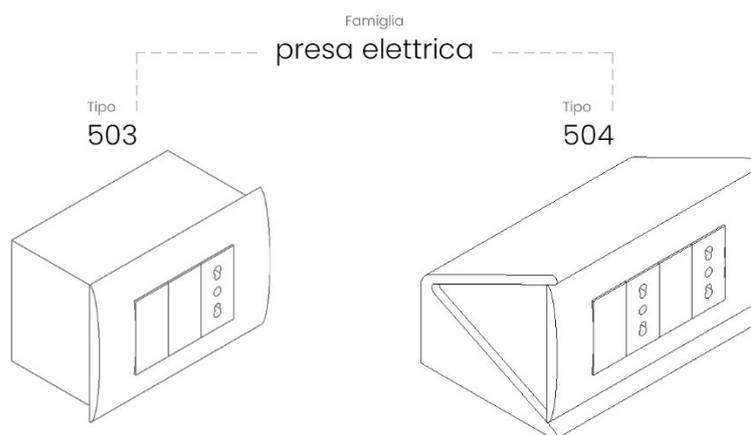


Figura 33: Rappresentazione dei diversi tipi della famiglia presa elettrica.

Grazie alla definizione dei **parametri dimensionali** e di **visibilità** è stato possibile gestire parametricamente la famiglia importata attraverso la **selezione del tipo**.

Vengono successivamente **caricate** tutte le famiglie elettriche all'interno del file **Elettrico_Carignano.rvt** e posizionate nel contesto architettonico seguendo il rilievo effettuato per generare il modello elettrico completo.

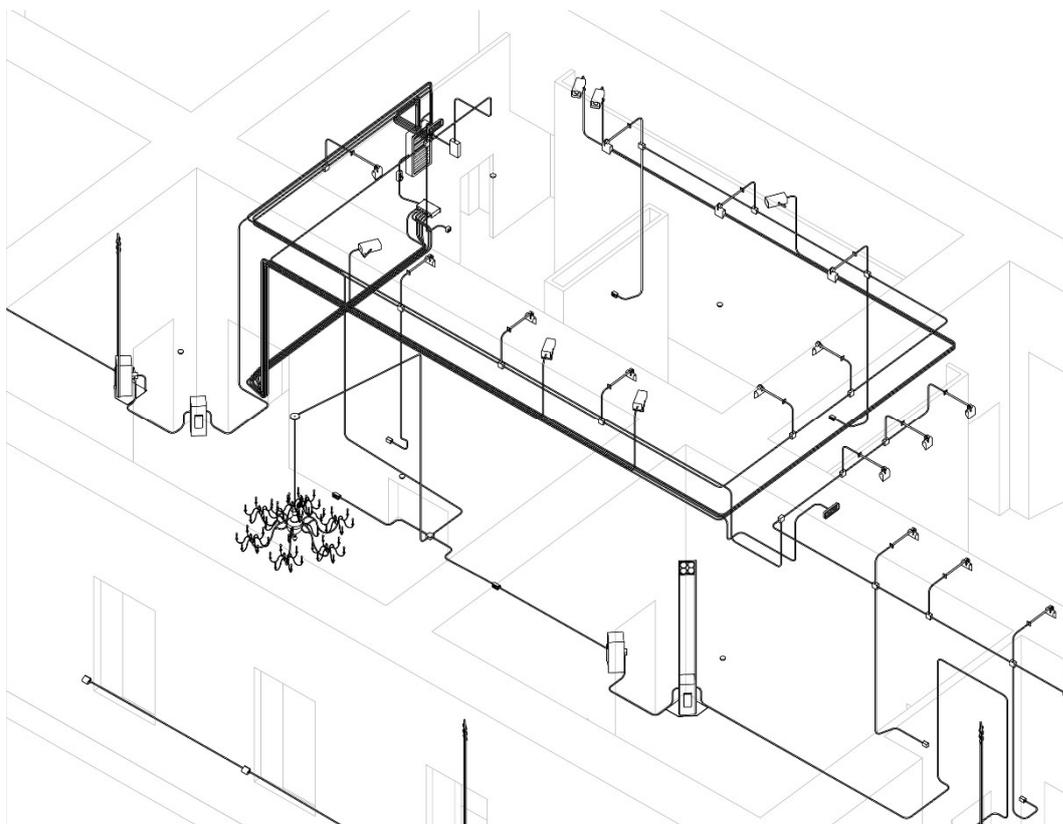


Figura 34: Rappresentazione assometrica di una porzione del modello elettrico

5.4.2 Costruzione dei circuiti elettrici

Per la costruzione dei circuiti elettrici viene selezionato il **sistema di distribuzione** del quadro elettrico, settato precedentemente all'interno delle impostazioni elettriche, qui viene selezionato il **sistema trifase**.



Figura 35: Schermata ambiente Revit® di selezione del sistema di distribuzione.

Successivamente vengono definiti i **sistemi di alimentazione** dei dispositivi elettrici che ci permettono di identificare il **quadro di appartenenza** creando così un circuito al quale possono essere associati gli altri dispositivi che ne fanno parte.

Il problema principale in Revit nella definizione del **percorso** dei cavi è che questi possono essere definiti solo su di un piano 2D orizzontale non permettendoci di identificare con maggiore precisione la lunghezza in tratti di cavo dove quest'ultimo si muove lungo l'asse verticale.

Per ovviare a questo problema le **lunghezze** dei cavi possono essere definite dai tubi protettivi che, diversamente dai cavi, possono essere definiti tridimensionalmente e quindi rappresentati sui diversi assi.

Attraverso l'utilizzo dei **simboli** con la visualizzazione in pianta ad un livello di dettaglio basso e al tracciamento dei cavi nei diversi circuiti è stato possibile ricavare una planimetria che rappresenta il percorso dei circuiti e i dispositivi associati per una facile lettura alle differenti scale. I circuiti vengono **identificati** da un numero, richiamato da un'**etichetta**, e **diversificati** da un colore.

5.5 Popolamento dei dati

Definito il modello elettrico in tutti i suoi componenti, si è proceduto a popolare il modello dei **dati** necessari per il raggiungimento degli **obiettivi prefissati**.

Nell'editor di Revit vi sono diverse tipologie di parametri, ognuna con un suo scopo specifico. Per rendere questi parametri gestibili da differenti file di progetto, dalle famiglie e dalle etichette è necessario, prima di creare un nuovo **parametro di progetto**, definire i **parametri condivisi**.

Questi parametri condivisi vengono generati all'interno di un file esterno **.txt** che viene associato, in questo caso, al file di lavoro **Elettrico_Carignano.rvt**.

Questo ci consente di poter **accedere** ai parametri condivisi e di poterli visualizzare, oltre che nelle proprietà e negli abachi, anche nelle viste attraverso l'utilizzo di etichette apposite che ne richiamano il parametro.

Revit ci offre, inoltre, uno strumento molto potente chiamato **Dynamo** che ci consente di personalizzare il flusso di lavoro potendo gestire qualsiasi elemento presente nell'editor di Revit, utile soprattutto, in questo lavoro di tesi, nella gestione degli **output** dei parametri associati ai dispositivi elettrici.



Figura 38: Schermata ambiente Revit® dello strumento Dynamo.

Uno strumento di **programmazione visiva** a **nodi** che rappresentano funzioni e operazioni come la selezione di oggetti, l'estrazione di parametri, la creazione di geometrie e la manipolazione dei dati.

A questi nodi è anche possibile associare script **Python** che ci permettono di estendere ulteriormente le capacità di Dynamo, per eseguire operazioni più complesse che non possono essere gestite tramite i nodi visivi standard, estendendo di fatto le funzionalità native di Revit.

Altro punto a favore dell'utilizzo di questo strumento è l'**interoperabilità** e cioè la possibilità di interagire con altri software o strumenti esterni a Revit come Excel, AutoCad e come vedremo più avanti con applicazioni web, inviando e ricevendo dati per la gestione della **manutenzione ordinaria** impiantistica, consentendo una libertà estrema, limitata soltanto dalla potenza di calcolo dello strumento PC e dalla nostra fantasia.

5.5.1 Parametro “ID”

Quando in Revit viene importata una famiglia, oltre al nome della famiglia e il tipo, viene associato un **numero identificativo**.

L’**ID** viene anche associato agli oggetti 3D quando il file Revit viene esportato in formato **fbx** ed è possibile visualizzarlo nel nome attribuito all’oggetto esportato facilitandone il riconoscimento in altri editor come vedremo più avanti.

Questo numero identificativo non è però direttamente visibile all’interno dell’editor di Revit e non può quindi essere richiamato tramite etichette o parametri di progetto con un approccio standard.

In questo caso ci viene in aiuto **Dynamo**, che, come vedremo più avanti, grazie alla programmazione visiva tramite nodi, richiama la stringa ID e rimanda l’informazione in output al parametro creato in Revit. Questo processo ci consente una veloce attribuzione di ID agli oggetti.

Viene, quindi, creato nell’editor di Revit il **parametro condiviso ID**.

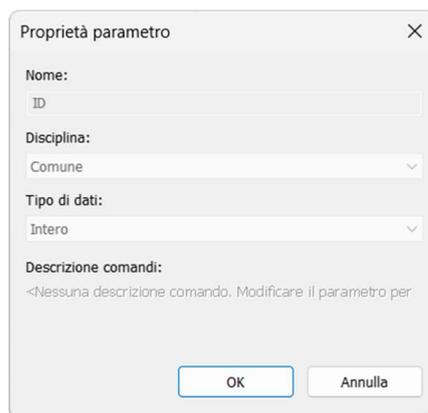


Figura 39: Schermata ambiente Revit® Proprietà parametro condiviso.

Creato il parametro condiviso, questo può essere ora richiamato nella creazione del **parametro di progetto** che ci permette di visualizzare il parametro “ID” nelle proprietà delle famiglie appartenenti alle categorie elettriche selezionate.

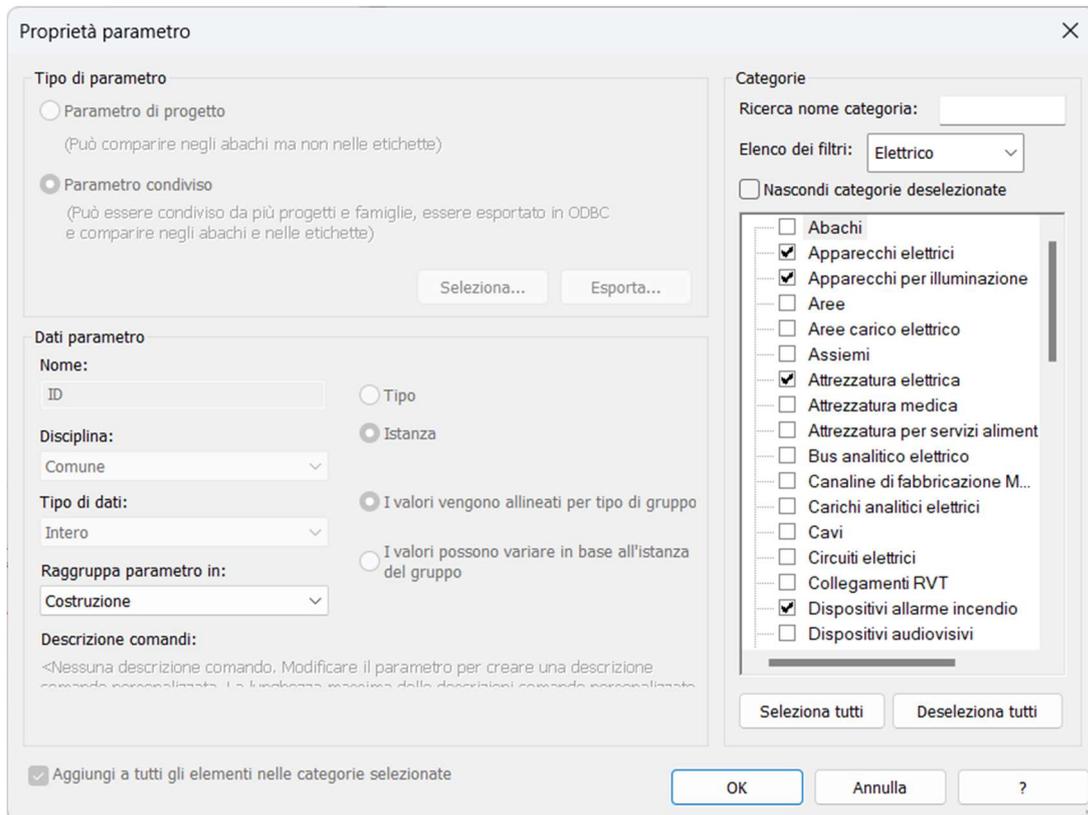


Figura 40: Schermata ambiente Revit® Proprietà parametro di progetto.

Per Visualizzare il parametro “ID” nelle viste è necessario creare un'**etichetta multicategoria**.

Viene, quindi, selezionato il giusto template di famiglia per la creazione dell'etichetta, creato il parametro condiviso “ID” tramite il comando **Testo Etichetta** e caricata la famiglia etichetta nel file **Elettrico_Carignano.rvt** per poter essere associata a tutte le famiglie.

Fatte queste operazioni, il parametro “ID” non contiene ancora nessun dato e quindi l’etichetta mostrerà un campo vuoto.

Questa operazione potrebbe essere fatta manualmente associando un numero ad ogni famiglia nelle proprietà degli oggetti, ma comporterebbe lunghi tempi di lavoro e maggiore probabilità nell’incorrere in errori, soprattutto quando si ha a che fare con una moltitudine di famiglie.

Per **automatizzare** questo processo ripetitivo ci viene in aiuto Dynamo.

5.5.1.1 Costruzione del codice ID in ambiente Dynamo

Nell'editor di Dynamo gli elementi appartenenti alle diverse categorie, al quale vogliamo attribuire un ID, vengono richiamati dal nodo **“Categories”** e listate grazie al nodo **“List Create”**.

Con il nodo **“All Elements Category”** tutti gli elementi contenuti all'interno delle diverse categorie vengono richiamati e listati, in questo modo si ottiene una lista che contiene al suo interno quattro liste di elementi per le differenti categorie.

Come si può vedere dal nodo **“All Element of Category”**, quando gli elementi vengono richiamati, ad essi viene associato l'ID che Revit automaticamente abbinava a tutte le famiglie importate.

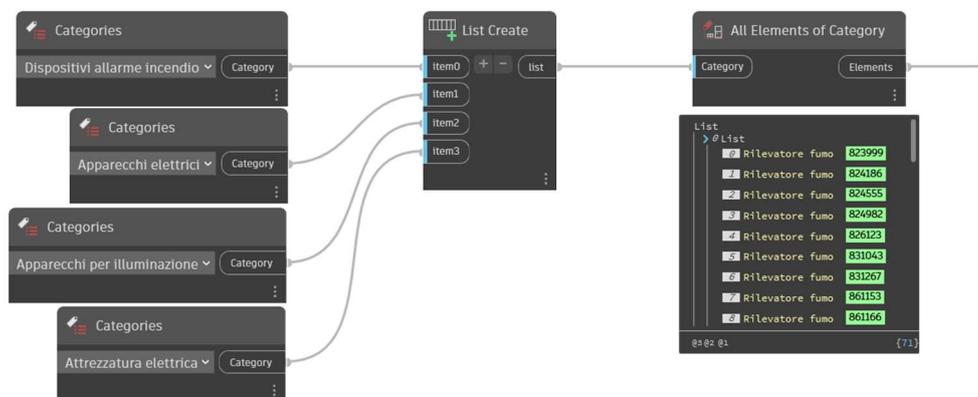


Figura 41: Parte 1 del codice a nodi (ID) in ambiente Dynamo.

È necessario ora appiattare la lista per ottenere una singola lista da gestire.

Qui ci vengono in aiuto i nodi **“Python Script”** che, tramite il linguaggio di programmazione Python, ci permettono di facilitare questa operazione. Viene quindi appiattita la lista e successivamente trasformata da lista elementi a lista stringhe.

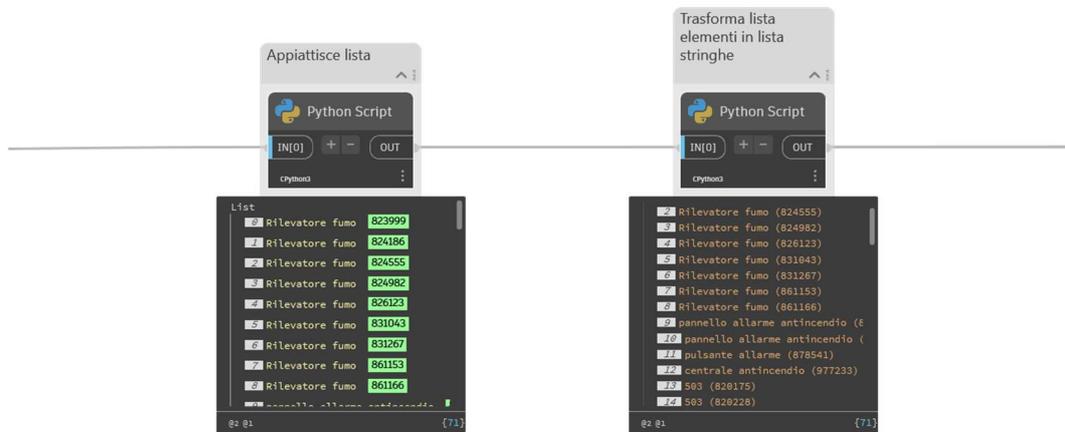


Figura 42: Parte 2 del codice a nodi (ID) in ambiente Dynamo.

È ora possibile, grazie ad un altro nodo **“Python Script”**, estrarre dalla lista di stringhe precedentemente generata la sola stringa contenuta tra parentesi e trasformarla in un numero intero.

Questo numero intero potrà quindi essere associato al parametro **“ID”** precedentemente creato nell’editor di Revit attraverso il nodo **“Element.SetParameterByName”** che prende in input la lista di elementi, il nome del parametro presente in Revit tramite un nodo **“String”** e la lista di numeri interi generata.

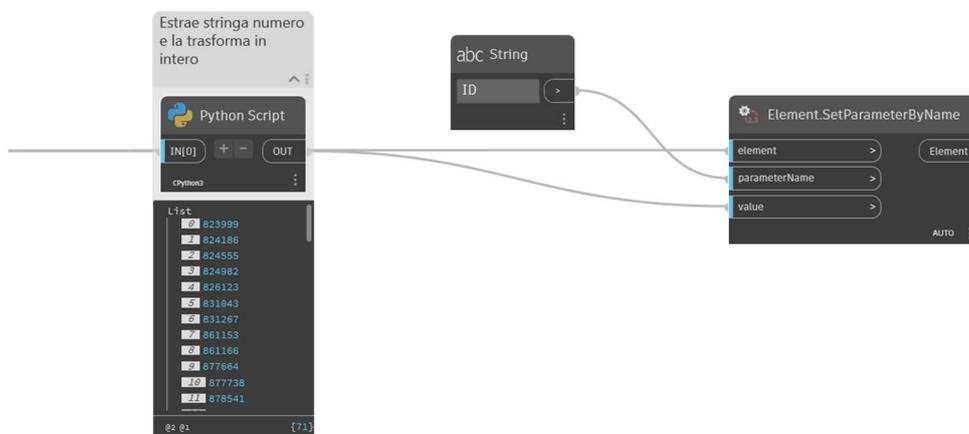


Figura 43: Parte 3 del codice a nodi (ID) in ambiente Dynamo.

Possiamo ora **visualizzare** in **planimetria** la giusta associazione degli identificatori numerici grazie alla vista in pianta alla quale sono state precedentemente associate le etichette alle famiglie che richiamano il parametro condiviso ID.

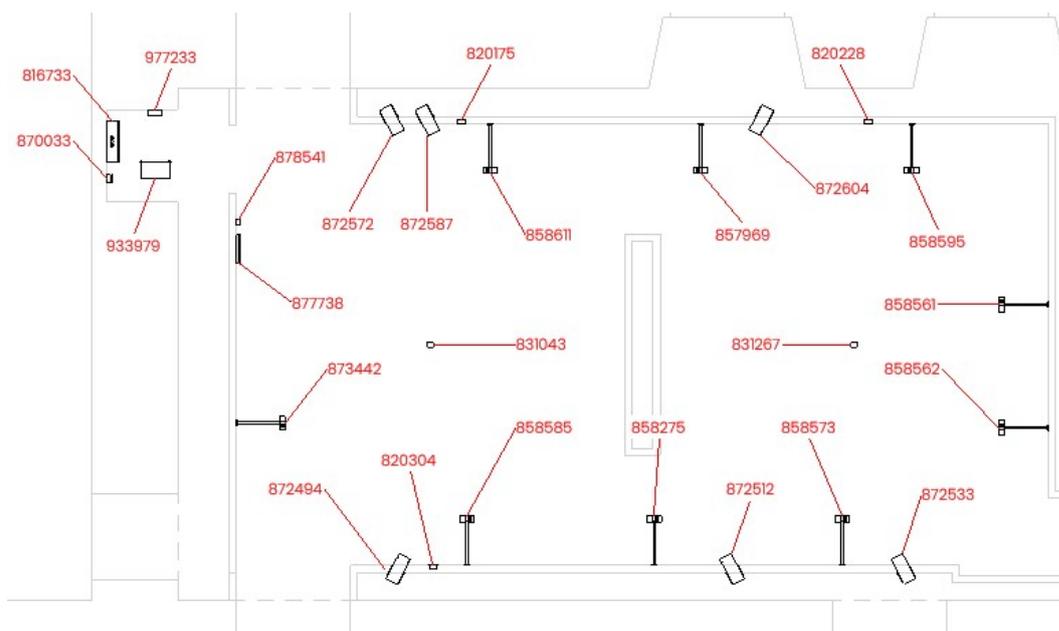


Figura 44: Rappresentazione planimetrica di una porzione della pianta ID.

L'associazione dell'ID e la visualizzazione in pianta tramite etichetta sarà utile per identificare i dispositivi tramite gli abachi.

5.5.2 Parametro “Rilevato”

Per identificare gli elementi rilevati, viene attribuito, ad ogni oggetto presente nell’editor, un **parametro di progetto** booleano che selezionato manualmente durante la costruzione del modello ci indica se l’elemento è stato rilevato.

Purtroppo, nelle operazioni di rilievo degli impianti, non è sempre possibile accedere dietro contropareti o controsoffitti, tanto meno quando gli impianti sono inglobati all’interno di murature o pavimenti, a meno di ricorrere a interventi diretti di demolizione per consentirne l’accesso.

Questo parametro ci consente, quindi, di **visualizzare** in modo diretto la **qualità del rilievo** di un impianto e ci offre la possibilità di aggiornare il dato nel tempo per migliorarne la qualità.

Il parametro è visualizzabile attraverso una **vista assonometrica** ortogonale alla quale vengono associati dei **filtri grafici** che mostrano lo stato **rilevato** e **non rilevato** dell’oggetto tridimensionale attraverso delle regole.

Nome	Attiva filtro	Visibilità	Proiezione/Superficie			Taglio		Mezzitoni
			Linee	Motivi	Trasparenza	Linee	Motivi	
Rilevato	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			Sostituisci...			<input type="checkbox"/>
Non Rilevato	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>

Figura 45: Schermata ambiente Revit® Filtri di vista.

Se il parametro di progetto booleano rilevato è “true” il filtro viene attivato attribuendo all’oggetto una colorazione specifica, viceversa se il parametro risulta essere “false” verrà attribuita un’altra colorazione.

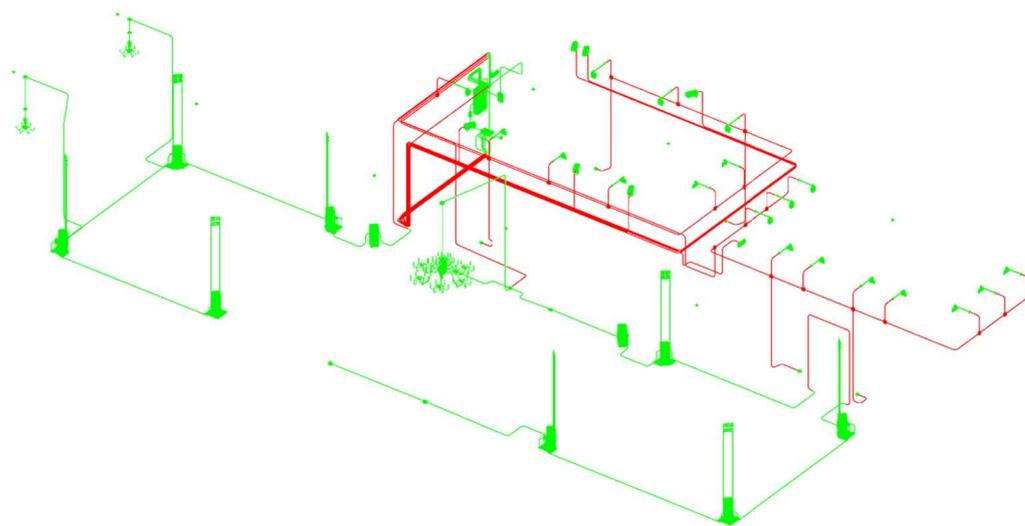


Figura 46: Vista assonometrica ortogonale degli elementi impiantistici rilevati e non rilevati.

Come è possibile osservare dalla vista assonometrica, è stato possibile rilevare tutti i dispositivi elettrici tranne che per i tratti dei condotti di connessione dei circuiti non accessibili.

Questi tratti sono stati ipotizzati cercando, in fase di restituzione, di generare il percorso più breve di connessione.

5.5.3 Parametri informativi generali

Per costruire l'**abaco dei dispositivi elettrici** è stato necessario attribuire a tutti i dispositivi le informazioni descrittive necessarie.

Ai parametri già esistenti come il parametro **“immagine”** viene associata la rappresentazione dell'oggetto attraverso un file .png o .jpeg ricavato dalla vista assonometrica ortogonale della famiglia.

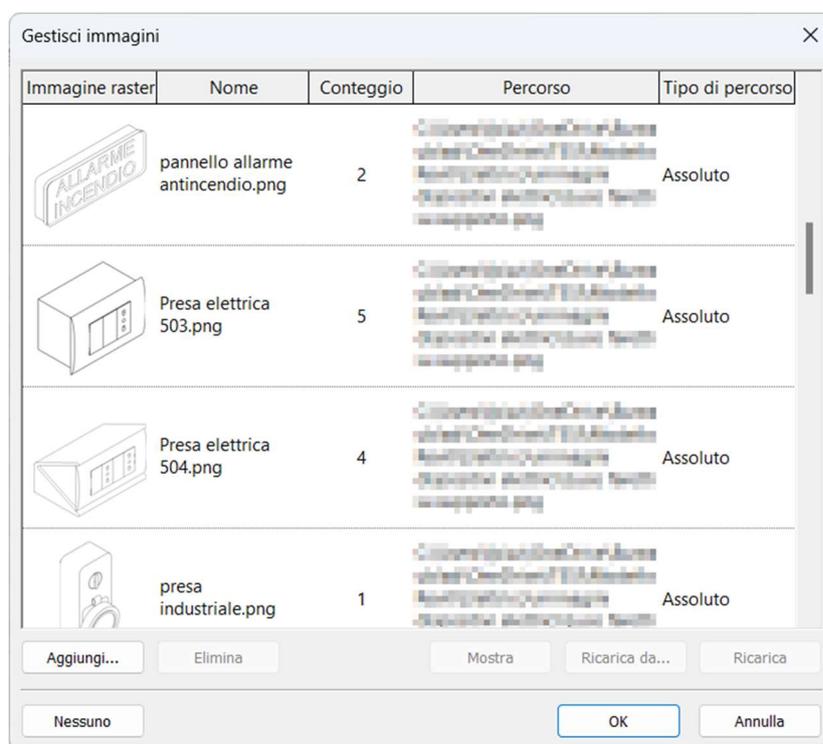


Figura 47: Schermata ambiente Revit® Gestore immagini.

Vengono aggiunti i parametri **“Produttore / Modello”** e **“Dati elettrici”** ai quali vengono attribuiti i dati relativi all'oggetto.

Inoltre, per visualizzare le **schede tecniche** dei dispositivi, caricati all'interno di una cartella condivisa Dropbox, e facilitarne l'accesso, vengono aggiunti due parametri di progetto "QR" e "URL", al primo viene attribuito un dato "immagine" al quale è associato un codice QR e al secondo un URL di destinazione.

Viene così costruito l'abaco dei dispositivi elettrici.

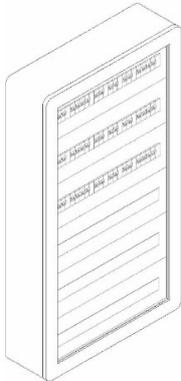
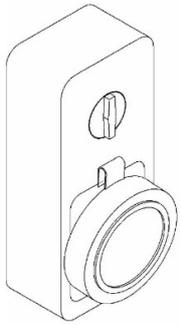
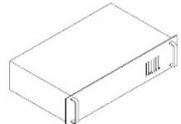
Abaco Dispositivi elettrici						
Famiglia	Immagine	N°	Produttore / Modello	Dati elettrici	Scheda tecnica	
					QR	URL
Attrezzatura elettrica						
quadro elettrico		1	BITICINO - mas SDX-P	/		https://www.dropbox.com/scl/fi/8co0ap5pb03kbcqz2/8TIMAS160-quadro-elettri.co.pdf?rlkey=kjwwvcb0bony757nqjy70z4v6at=vnkca0965dcl=0
Apparecchi elettrici						
presa industriale		1	Gewiss - GW6633IN	380/415 V		https://www.dropbox.com/scl/fi/4uct039c34n0bdgwcch2/gawiss.pdf?rlkey=r8B80q4pnelxpy3jtdgml036st=uu3v6u226cl=0
Apparecchi per illuminazione						
Dimmer		1	Electron - Actor 616	380 V - 6x3680		https://www.dropbox.com/scl/fi/8f8tuda m5ew09bhvq7pk/2018-ELECTRON-DIMME R.pdf?rlkey=s0jwts1b3kl74iutkv76st=ahb2qun6cl=0

Figura 48: Stralcio abaco dei dispositivi elettrici.

5.5.4 Parametri di manutenzione

Per gestire la **manutenzione ordinaria** è stato necessario definire un processo informativo per generare “**alert**” visualizzabili tramite viste assonometriche e abachi.

Sono stati definiti parametri condivisi, globali e di progetto per poter gestire nel migliore dei modi ogni aspetto della manutenzione.

Parametro condiviso / di progetto	Tipo di dato	formato
Cadenza revisione	intero	(g)
Data ultima revisione	intero	(aaaammgg)
Data prossima revisione	intero	(aaaammgg)
Da revisionare	Booleano	True - false
Da sostituire	Booleano	True - false
Descrizione revisione	Stringa	/

Figura 49: Lista dei parametri condivisi e di progetto.

Vengono successivamente creati i **parametri globali** che in Revit vengono utilizzati per il singolo progetto e ci aiutano a **sincronizzare** un dato che è attribuibile ad un parametro di progetto per un gruppo di famiglie scelte.

Ad esempio, al parametro di progetto “Cadenza revisione” corrisponde un dato specifico per ogni categoria di oggetto, definendo un parametro globale cadenza revisione per ogni categoria di oggetto, questo dato può essere associato nel parametro di progetto ai gruppi di categoria scelti e in caso di modifica basterà cambiare il dato nel parametro globale per aggiornarlo automaticamente in tutti i dispositivi al quale è stato associato questo parametro.

Parametro globale	Valore	Formato
Cadenza revisione luci di emergenza	182	(g)
Cadenza revisione quadro elettrico	365	(g)
Cadenza revisione rilevatori fumo e allarmi	182	(g)
Cadenza revisione prese e interruttori	365	(g)

Parametro globale	Descrizione
Descrizione manutenzione luci di emergenza	Controllo dell'efficienza dell'illuminazione di emergenza e della carica dei relativi accumulatori
Descrizione manutenzione prese	Controllo Visivo segni di usura, surriscaldamento, bruciature, crepe. Test funzionale, verifica della tensione erogata
Descrizione manutenzione quadro elettrico	Esame visivo integrità quadro, controllo serraggi, verifica impianto messa a terra e dispositivi di protezione differenziali
Descrizione manutenzione rilevatore fumo	Test funzionale dei dispositivi di rilevamento (fumo, calore, gas)
Descrizione manutenzione pannello allarme	Test funzionale dei sistemi di segnalazione e allarme
Descrizione manutenzione pulsante allarme	Test funzionale dei pulsanti per garantire attivazione del sistema di allarme
Descrizione manutenzione centrale antincendio	Test funzionale dei dispositivi connessi

Figura 50: Liste dei parametri globali.

I parametri globali generati vengono, quindi, associati nelle proprietà istanza dei parametri di progetto ai quali appartengono.

I dati dei parametri globali dei **giorni di cadenza** della **revisione** dei dispositivi derivano dalla normativa **CEI** che definisce la cadenza obbligatoria di revisione, in particolare la CEI 64-8 che detta le prescrizioni riguardanti l'esercizio degli impianti elettrici nei luoghi di pubblico spettacolo e di intrattenimento.

Il parametro booleano "**Da sostituire**" viene settato nell'editor per marcare, in fase di gestione, un apparecchio che ha bisogno di **manutenzione straordinaria**.

Definita la **cadenza revisione** e impostata la **data di ultima revisione** è ora possibile definire attraverso questi due parametri la **data di prossima revisione** e quindi il parametro booleano "**Da revisionare**" che servirà da **marcatore**.

Viene quindi utilizzato l'editor di Dynamo per gestire queste **interazioni**, i parametri in Revit non hanno nativamente un tipo di dato con formato "data" quindi questo dato intero viene gestito formattando tutte le date in formato "aaaammgg" per facilitare l'interazione con il dato all'interno dell'editor di Dynamo e poter confrontare due numeri interi.

Attraverso il lavoro di programmazione ad oggetto per la gestione del flusso informativo di manutenzione verranno poste le basi per l'**interoperabilità** tra il software Revit, un **database** cloud e l'applicazione di **realtà aumentata** che vedremo più avanti. Quindi viene implementato all'interno del codice un comando di invio dei dati al database e uno di ricevuta.

Viene utilizzata una piattaforma di sviluppo mobile e web fornita da Google chiamata **Firestore**, nello specifico viene utilizzato il servizio **Realtime Database**, un database NoSQL basato su cloud che consente la memorizzazione e la sincronizzazione tra più client in tempo reale. Il dato inviato al database, al quale si accede attraverso un percorso URL univoco, ha una struttura piatta **chiavi-valori** in formato **json**, dove il dato chiave

è l'identificativo univoco del dispositivo elettrico e il valore è il parametro booleano (true o false) del parametro “Da revisionare” o un valore stringa “REVISIONATO” o “SOSTITUIRE” ai quali corrisponde una diversa operazione nel codice.

Di seguito un esempio della struttura del file json che verrà aggiornata nel realtime database di Firebase:

```
{  
  "Nome famiglia (ID)": false,  
  "Nome famiglia (ID)": true,  
  "Nome famiglia (ID)": "SOSTITUIRE",  
  "Nome famiglia (ID)": "REVISIONATO",  
}
```

5.5.4.1 Costruzione del codice “manutenzione” in ambiente Dynamo

Per facilitare la lettura del codice i passaggi verranno elencati per punti.

- **PASSAGGIO 1**



Figura 51: Parte 1 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

Come per il parametro “ID” visto sopra, nell’editor di Dynamo vengono prima richiamati tutti gli elementi ai quali sono stati associati i parametri, e generata la lista appiattita degli elementi tramite un nodo “**Python Script**”.

- **PASSAGGIO 2**

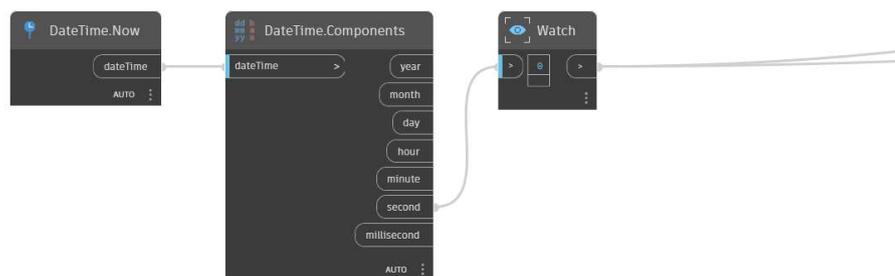


Figura 52: Parte 2 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

I nodi “**Python Script**” vengono eseguiti solo all’avvio del codice o se ricevono in ingresso un valore variabile.

Per forzare, quindi, l'esecuzione dello script Python contenuto nel nodo **"Python Script"**, viene generato un **Clock** per ottenere in output un valore variabile da inserire in input nei successivi nodi **"Python Script"**.

▪ **PASSAGGIO 3**



Figura 53: Parte 3 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

In questo passaggio viene richiamata la data odierna tramite il nodo **"DateTime.Now"**.

Diventa necessario formattare il dato per renderlo confrontabile con i parametri data che utilizzeremo in seguito, grazie al nodo **"Python Script"** viene richiamata la data in ingresso e formattata nel formato **"aaaammgg"**.

La stringa in uscita viene trasformata in intero grazie al nodo **"String.ToNumber"**

▪ **PASSAGGIO 4**

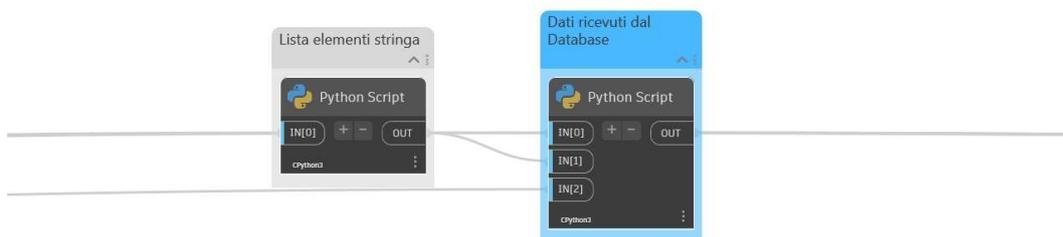


Figura 54: Parte 4 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

In questo passaggio viene utilizzato il nodo “**Python Script**” per generare una lista di elementi stringa. Questo nodo prende in input la lista di elementi (PASSAGGIO 1).

La lista in output del primo nodo viene inserita in input nel secondo nodo “**Python Script**” che ordina i valori ricevuti dal database tramite una richiesta **GET** al Realtime Database di Firebase.

Vengono inoltre presi in input la lista di elementi (PASSAGGIO 1) e il clock (PASSAGGIO 2).

▪ **PASSAGGIO 5**

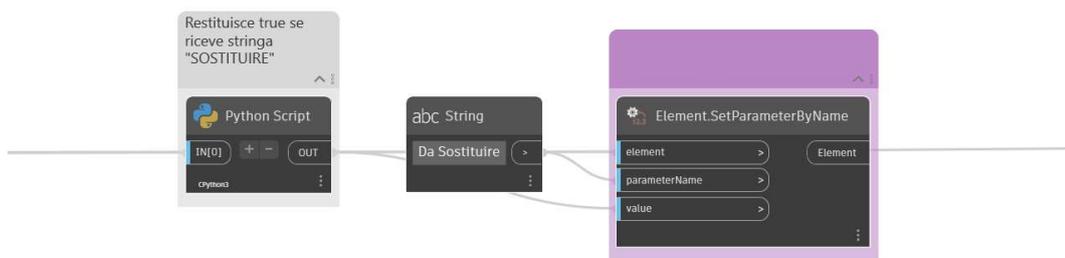


Figura 55: Parte 5 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

Ricevuti i valori dal database online (PASSAGGIO 4) viene verificato che nella lista di valori booleani (true / false) vi siano presenti valori stringa “SOSTITUIRE”.

Tramite il primo nodo “**Python Script**” viene restituito un valore booleano true se nella lista ricevuta dal database è presente un valore stringa “SOSTITUIRE”, questo ci permette di generare in output una lista di valori booleani che verranno inseriti in input nel nodo “**Element.SetParameterByName**”, che, richiamando il parametro “Da Sostituire”, tramite il nodo “**String**”, invia i valori booleani nell’editor di Revit associandoli al parametro richiamato.

▪ **PASSAGGIO 6**

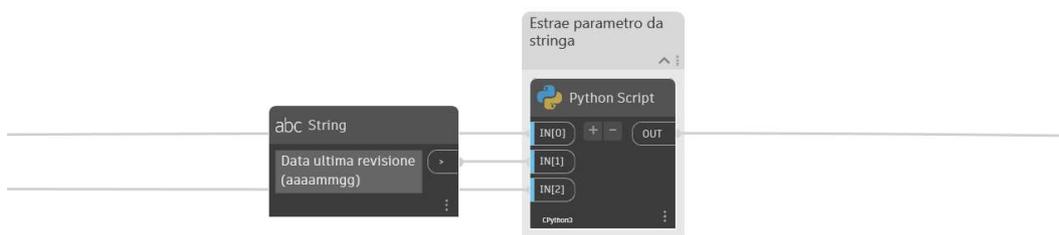


Figura 56: Parte 6 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

Attraverso il nodo “**Python Script**” viene richiamato, dall’editor di Revit, il parametro “Data ultima revisione (aaaammgg)” tramite il nodo “**String**”.

Il nodo prende in input la lista elementi (PASSAGGIO 1), la stringa che richiama il parametro in Revit e il clock (PASSAGGIO 2).

Questo nodo ci permette di restituire in output la lista di numeri interi delle **date di ultima revisione** inserite in Revit nel formato “aaaammgg”

▪ **PASSAGGIO 7**



Figura 57: Parte 7 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

Il primo nodo “**Python Script**” prende in input i valori ricevuti dal database online (PASSAGGIO 4), se riceve un valore stringa “REVISIONATO” restituisce un valore booleano true.

Questo ci permette di inserire la lista di questi valori in input nel secondo nodo “**Python Script**” che prende in input anche la lista delle date di ultima revisione (PASSAGGIO 6) e la data odierna (PASSAGGIO 3).

Se riceve un valore true dal nodo Python in input inserisce in lista la data odierna, viceversa lascia in lista la data di ultima revisione in input.

Questo permette al nodo di generare in output la lista di **data ultima revisione aggiornata** se dal database online viene ricevuto un dato stringa “REVISIONATO”.

Quindi, le date aggiornate vengono inviate nell’editor di Revit tramite il nodo “**Element.SetParameterByName**” che aggiorna il dato del parametro “Data ultima revisione (aaaammgg)” richiamato dal nodo “**String**”

▪ **PASSAGGIO 8**



Figura 58: Parte 8 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

Il nodo “**Python Script**” prende in input la lista elementi (PASSAGGIO 1), la lista di parametri “Cadenza Revisione”, definiti nell’editor di Revit, tramite il nodo “**String**” e le date di ultima revisione (passaggio 7).

Questo permette al nodo di sommare la lista dei parametri “Cadenza Revisione” in formato giorni alla lista di date ultima revisione in formato “aaaammgg”, generando la **lista** di valori interi di **date di prossima revisione**.

Questa lista di valori, grazie al secondo nodo **“Python Script”**, viene inviata all’editor di Revit e associata al parametro **“Data prossima Revisione (aaaammgg)”** richiamato dal nodo **“String”**.

▪ **PASSAGGIO 9**

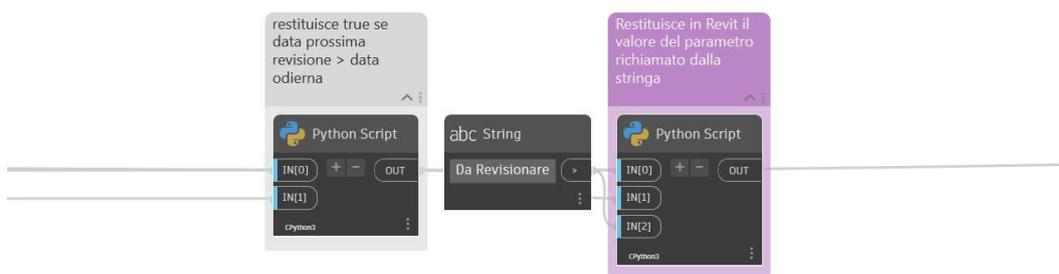


Figura 59: Parte 9 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

Il primo nodo **“Python Script”** prende in input la lista delle date di prossima revisione e la data odierna (PASSAGGIO 3), se la data di prossima revisione è maggiore della data odierna restituisce il valore booleano true.

In output, quindi, viene generata una lista di valori booleani true o false che vengono dati in input al secondo nodo **“Python Script”** che restituisce il valore booleano in Revit al parametro **“Da Revisionare”** richiamato dal nodo **“String”**.

▪ **PASSAGGIO 10**

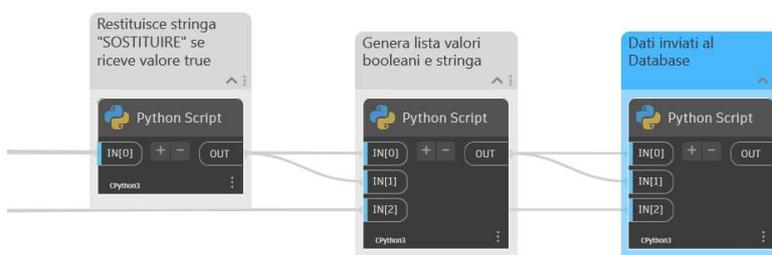


Figura 60: Parte 10 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.

In quest'ultimo passaggio il primo nodo "**Python Script**" che prende in input una lista di valori booleani (PASSAGGIO 5), restituisce la stringa "SOSTITUIRE" se riceve un valore booleano true, viceversa restituisce un valore false.

Il secondo nodo "**Python Script**" prende in input la lista dei valori booleani del parametro "Da Revisionare" (PASSAGGIO 9), la lista dei valori booleani e stringa che contengono la stringa "SOSTITUIRE" e la lista dei valori ricevuti dal database online (PASSAGGIO 4).

Il nodo modifica la lista dei parametri booleani "Da Revisionare" sostituendo i valori booleani con la stringa "SOSTITUIRE" solo se nelle altre due liste è presente simultaneamente il valore stringa "SOSTITUIRE", se questa condizione non viene soddisfatta i valori booleani della lista parametri "Da Revisionare" rimangono invariati.

Si ha quindi in output una lista di valori booleani e stringa che vengono dati in input all'ultimo nodo "**Python Script**" che, oltre a questa lista prende in input la lista di valori stringa (PASSAGGIO 4), che contiene i nomi famiglia seguiti dall'identificativo ID (Nome famiglia (ID)), e il nodo che riceve i dati dal database online.

Questo nodo ha l'obiettivo di **inviare dati** al Realtime Database di Firebase utilizzando una **richiesta HTTP**.

In pratica, attraverso i dati in input, crea un **dizionario** nel quale ad ogni nome famiglia associa un valore booleano o stringa, questo dizionario viene convertito in formato **JSON** e inviato al database tramite una **richiesta PUT**.

Il nodo (PASSAGGIO 4) inserito in input che riceve i dati dal database aggiunge una dipendenza tra i due nodi, il nodo non viene eseguito e quindi non invia dati al database finché il nodo in input che riceve i dati dal database non viene eseguito.

Questo ci permette di inviare al database i dati aggiornati in modo corretto.

5.5.4.2 Visualizzazione dei parametri

Gestito il flusso informativo e tutte le interazioni attraverso il codice in Dynamo è ora possibile utilizzare viste e abachi per rendere leggibili i parametri.

Grazie alle operazioni dei passaggi 5 e 9 che restituiscono i valori booleani true o false dei parametri “**Da Revisionare**” e “**Da Sostituire**” è possibile attraverso una vista assonometrica ortogonale associare dei **filtri grafici** che mostrano lo stato revisionato o da sostituire attraverso delle regole:

“Da Revisionare” = true

“Da Sostituire” = true

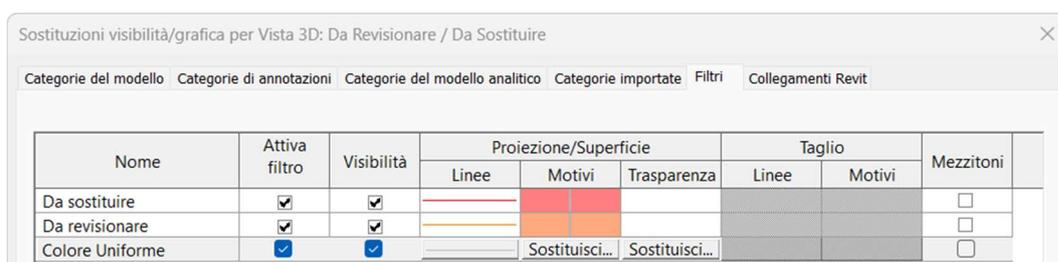


Figura 61: Schermata ambiente Revit® Filtri di vista.

Viene aggiunto un filtro “**Colore Uniforme**” che rende uniforme la visualizzazione di tutti i dispositivi nella vista.

Successivamente vengono applicate le regole per gli altri filtri.

Se il parametro booleano “**Da Revisionare**” e “**Da Sostituire**” è “true” il filtro viene attivato attribuendo all’oggetto una colorazione specifica, viceversa se il parametro risulta essere “false” il filtro non viene applicato.

Nella scheda filtri di Revit vi è una struttura gerarchica che viene definita dal posizionamento più in alto o più in basso dei filtri.

In questo caso il filtro “Da sostituire” comanda sul filtro “Da revisionare” perché posizionato più in alto.

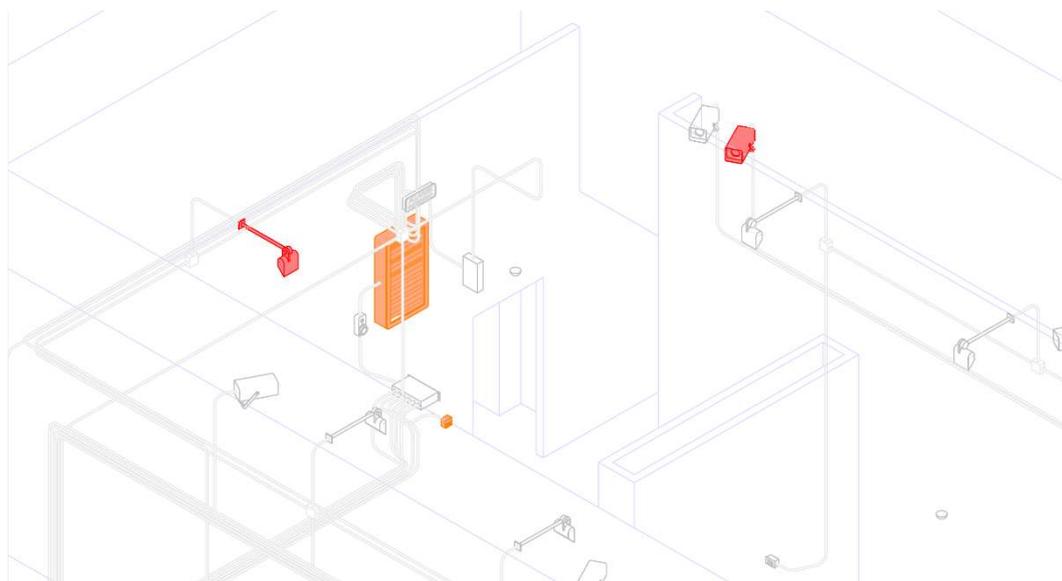


Figura 62: Porzione vista assonometrica ortogonale degli elementi impiantistici da revisionare o sostituire/riparare.

Questo ci permette di **visualizzare in modo diretto** quali elementi sono da revisionare o sostituire/riparare.

La visualizzazione dei parametri avviene anche all'interno degli abachi.

Attraverso lo strumento Abachi è possibile generare un **abaco multi-categoria** nel quale vengono richiamati diversi campi per popolare l'abaco delle informazioni necessarie.

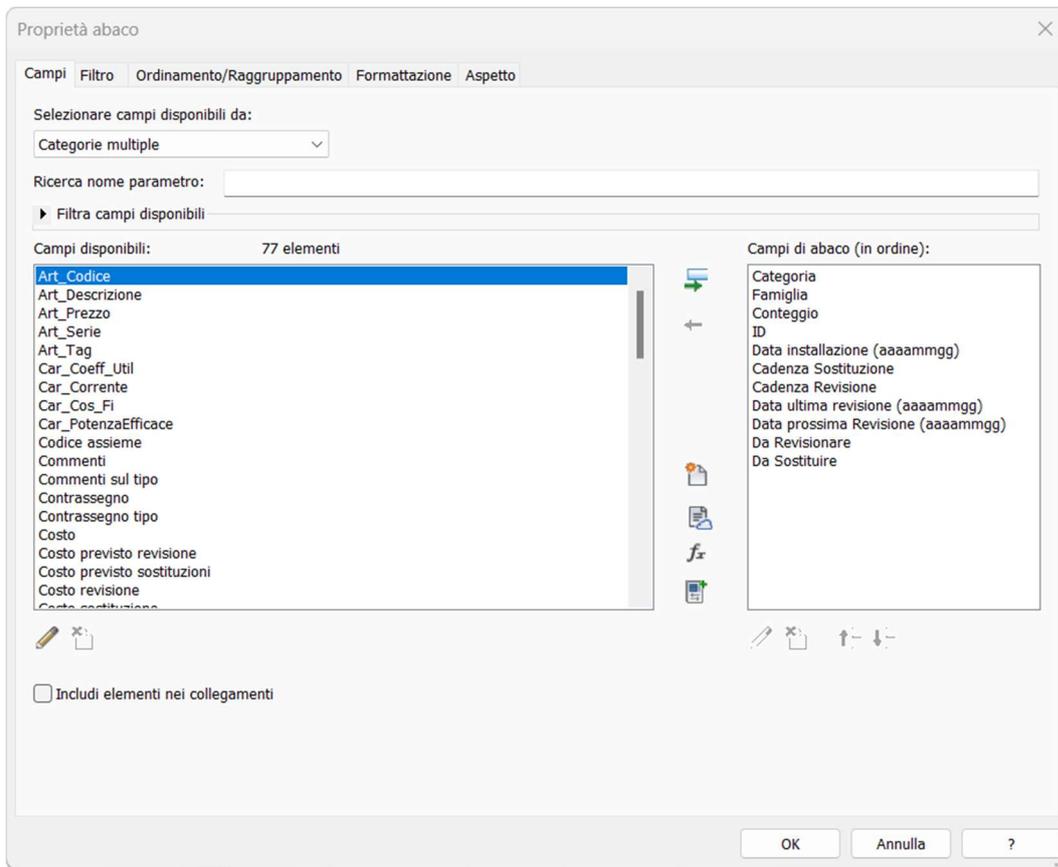


Figura 63: Schermata ambiente Revit® Campi proprietà abaco.

Tutti i dispositivi vengono richiamati grazie all'utilizzo dei **filtri**.

In questo caso tutti gli elementi ai quali è stato associato il parametro "ID" verranno richiamati all'interno dell'abaco.

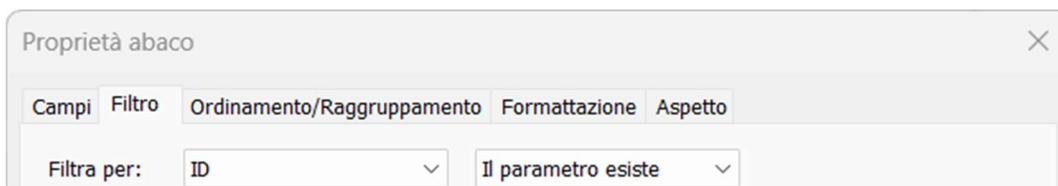


Figura 64: Schermata ambiente Revit® Filtri proprietà abaco.

Successivamente, i diversi campi selezionati vengono **ordinati** e **raggruppati** prima per categoria e poi per famiglia di appartenenza.

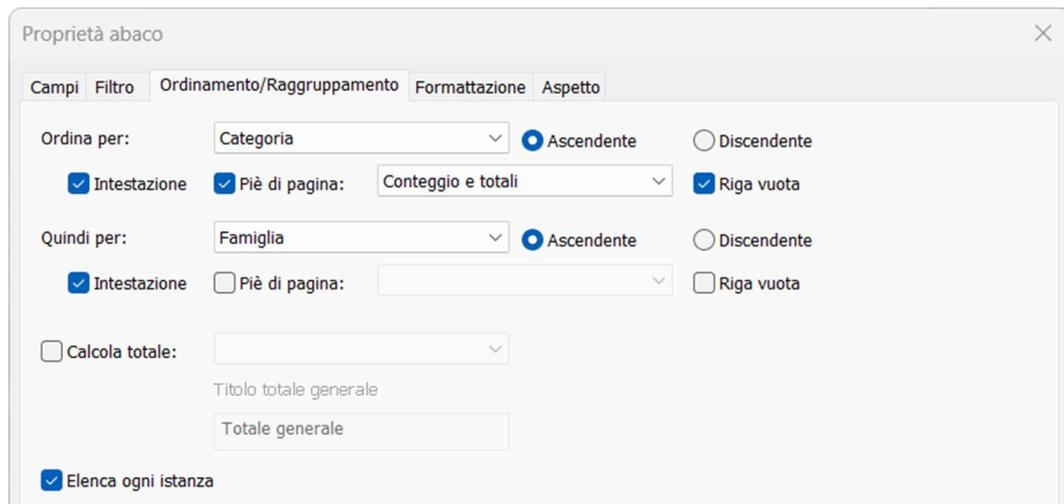


Figura 65: Schermata ambiente Revit® Ordinamento/Raggruppamento proprietà abaco.

Grazie alla **formattazione**, presente nelle proprietà abaco, è stato possibile **nascondere** i campi categoria, famiglia e conteggio che diventano ripetitivi in tabella e quindi visualizzati solo in intestazione e piè di pagina.

Vengono formattati inoltre i campi “**Da revisionare**” e “**Da sostituire**” attraverso la **formattazione condizionale** che attribuisce un **colore sfondo** data una condizione.

In questo caso se il campo “Da revisionare” o “Da sostituire” ha un valore uguale a “Sì” il colore sfondo della casella, contenente il valore, viene sostituito.

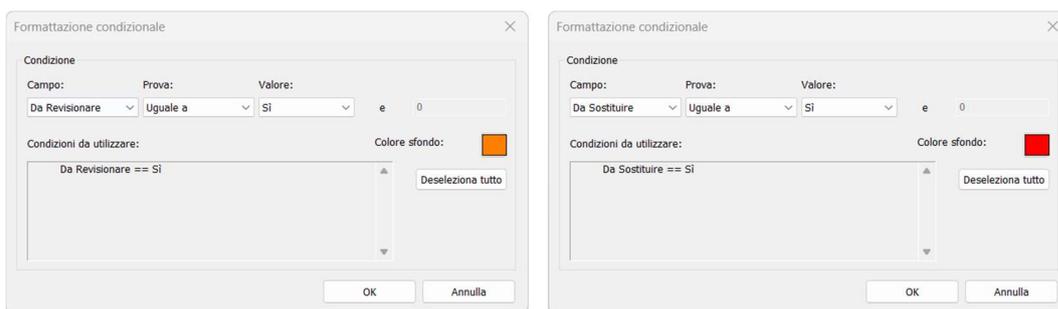


Figura 66: Schermata ambiente Revit® Formattazione condizionale proprietà abaco.

Questo ci permette di **visualizzare** immediatamente i campi e quindi il dispositivo riconducibile all’ID il quale è da revisionare o sostituire/riparare come visualizzabile dalla vista assonometrica.

Scheda Manutenzione / Sostituzione							
ID	Data installazione (aaaammgg)	Cadenza Sostituzione (g)	Cadenza Revisione (g)	Data ultima revisione (aaaammgg)	Data prossima Revisione (aaaammgg)	Da Revisionare	Da Sostituire
Attrezzatura elettrica							
quadro elettrico							
816733	20210101	10950	365	20230120	20240120	Si	No
Dispositivi allarme incendio							
centrale antincendio							
977233	20210101	3650	182	20241003	20250403	No	No
pannello allarme antincendio							
877664	20210101	3650	182	20231020	20240419	Si	No
877738	20210101	3650	182	20241020	20250420	No	No
pulsante allarme							
878541	20210101	5475	182	20241020	20250420	No	Si
Rilevatore fumo							
823999	20210101	3650	182	20231020	20240419	Si	No
824186	20210101	3650	182	20241001	20250401	No	No
824555	20210101	3650	182	20241001	20250401	No	No
824982	20210101	3650	182	20241001	20250401	No	No
826123	20210101	3650	182	20241001	20250401	No	No
831043	20210101	3650	182	20241001	20250401	No	Si
831267	20210101	3650	182	20241001	20250401	No	No
861153	20210101	3650	182	20241001	20250401	No	No
861166	20210101	3650	182	20241001	20250401	No	No

Figura 67: Stralcio Scheda Manutenzione / Sostituzione.

Inoltre, vengono generati due abachi che **filtrano** i soli dispositivi che hanno bisogno di revisione o sostituzione/riparazione per visualizzare istantaneamente su quali dispositivi intervenire.

Scheda descrizione manutenzioni		
ID	Descrizione revisione	Da Revisionare
luce ausiliaria di emergenza		
908273	Controllo dell'efficienza dell'illuminazione di emergenza e della carica dei relativi accumulatori	SI
908303	Controllo dell'efficienza dell'illuminazione di emergenza e della carica dei relativi accumulatori	SI
quadro elettrico		
816733	Esame visivo integrità quadro, controllo serraggi, verifica impianto messa a terra e dispositivi di protezione differenziali	SI
pannello allarme antincendio		
877664	Test funzionale dei sistemi di segnalazione e allarme	SI
Rilevatore fumo		
823999	Test funzionale dei dispositivi di rilevamento (fumo, calore, gas)	SI

Scheda sostituzioni	
ID	Da Sostituire/Riparare
Faro alogeno	
873442	SI
pulsante allarme	
878541	SI
Rilevatore fumo	
831043	SI

Figura 68: Scheda descrizione manutenzioni e Scheda sostituzioni.

All'abaco dei dispositivi di revisione viene anche associato il campo "**Descrizione revisione**" precedentemente attribuito tramite i parametri globali ai dispositivi per visualizzare la descrizione dell'intervento nella scheda.

5.5.5 Parametri di previsione dei costi di manutenzione

Per prevedere i **costi di manutenzione** ad una data prevista vengono definiti prima i parametri condivisi e di progetto.

Parametro condiviso / di progetto	Tipo di dato	Formato
Data previsione costi	intero	(aaaammgg)
Data installazione	intero	(aaaammgg)
Data ultima revisione	intero	(aaaammgg)
Costo sostituzione	decimale	€
Costo revisione	decimale	€
N° sostituzioni	intero	/
N° revisioni	intero	/
Costo previsto sostituzione	decimale	€
Costo previsto revisione	decimale	€
Cadenza revisioni	intero	(g)
Cadenza sostituzioni	intero	(g)

Figura 69: Lista dei parametri condivisi e di progetto.

I parametri di progetto “**Cadenza revisioni**” e “**Data ultima revisione**” settati precedentemente, vengono ripresi in tabella per comodità.

Definiti i **parametri di progetto** vengono, quindi, creati i **parametri globali** che andranno a popolare i valori dei parametri di progetto.

Viene associato un **costo unitario simbolico** per ogni categoria di dispositivo, valore aggiunto ai parametri di “**Costo revisione**” e “**Costo sostituzione**”.

Inoltre, viene Individuata un'ipotetica vita utile dei dispositivi in formato giorni e associato il valore al parametro “**Cadenza sostituzioni**”.

Parametro globale	Valore	Formato
Cadenza sostituzione quadro elettrico	10950	(g)
Cadenza sostituzione rilevatori e allarmi antincendio	3650	(g)
Cadenza sostituzione batterie luce emergenza	1095	(g)
Cadenza sostituzione illuminazione alogena	365	(g)
Cadenza sostituzione illuminazione LED	3650	(g)
Cadenza sostituzione prese e interruttori	5475	(g)
Cadenza sostituzione pulsante antincendio	5475	(g)

Figura 70: Lista dei parametri globali.

Viene impostata una data di installazione associata al parametro “**Data installazione**” e ipotizzata una data alla quale si vogliono aggiornare i costi inserendola nel parametro “**Data previsione costi**”.

Il parametro globale “**Data previsione costi**”, associato nell’editor di Revit, ci permette di modificare la data facilmente per poter stimare i costi a date differenti in tempo reale.

I Parametri di progetto “**N° sostituzioni**”, “**N° revisioni**”, “**Costo previsto sostituzione**” e “**Costo previsto revisione**” vengono definiti attraverso operazioni matematiche gestite attraverso l’editor di Dynamo.

5.5.5.1 Costruzione del codice “previsione costi” in ambiente Dynamo

- PASSAGGIO 1

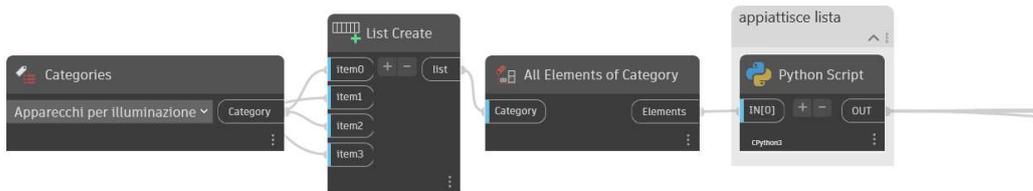


Figura 71: Parte 1 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.

Come per il parametro “ID” visto sopra, nell’editor di Dynamo vengono prima richiamati tutti gli elementi ai quali sono stati associati i parametri, e generata la **lista appiattita** degli elementi tramite il nodo “**Python Script**”.

- PASSAGGIO 2



Figura 72: Parte 2 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.

Viene aggiunto un nodo “**String**” nel quale viene associato il valore percentuale medio annuo previsto di **inflazione** che servirà successivamente per il calcolo dei costi ad una data prevista, questo parametro può essere facilmente modificato all’interno dell’editor di Dynamo.

▪ PASSAGGIO 3

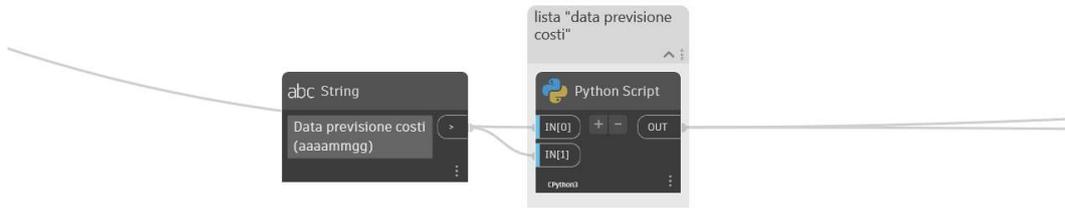


Figura 73: Parte 3 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.

Il nodo “**Python Script**” estrae la lista delle date di previsione costi richiamando il parametro presente in Revit attraverso il nodo “**String**”.

▪ PASSAGGIO 4

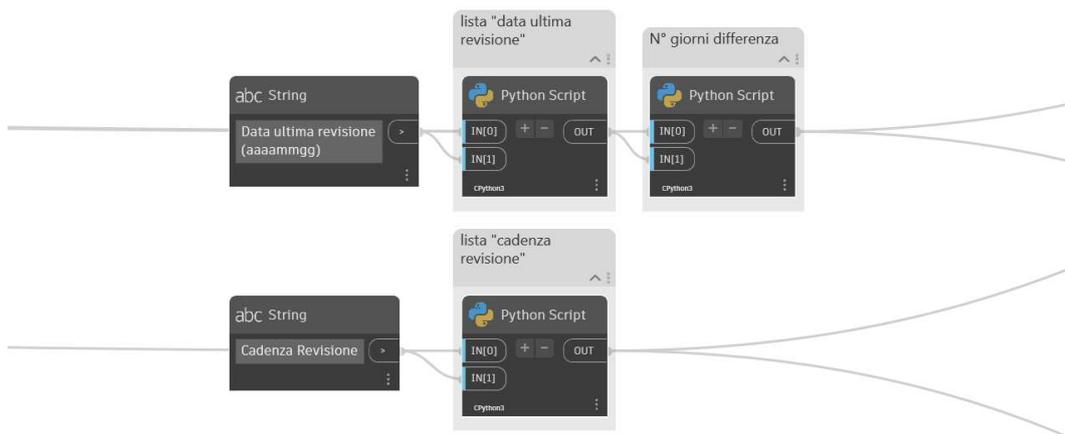


Figura 74: Parte 4 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.

In questo passaggio attraverso il primo nodo “**Python Script**” viene estratta la lista delle date di ultima revisione richiamando i parametri presenti in Revit attraverso il nodo “**String**”.

Il nodo “**Python Script**” successivo prende in ingresso le liste di date di ultima revisione e le liste delle date di previsione dei costi (PASSAGGIO 3) per generare una lista di giorni di differenza tra le due date che servirà

successivamente per individuare il numero di revisioni da effettuare alla data di previsione costi.

Quindi, il terzo nodo “**Python Script**” estrae la lista dei giorni di cadenza revisione richiamando il parametro in Revit attraverso il nodo “**String**”

▪ **PASSAGGIO 5**

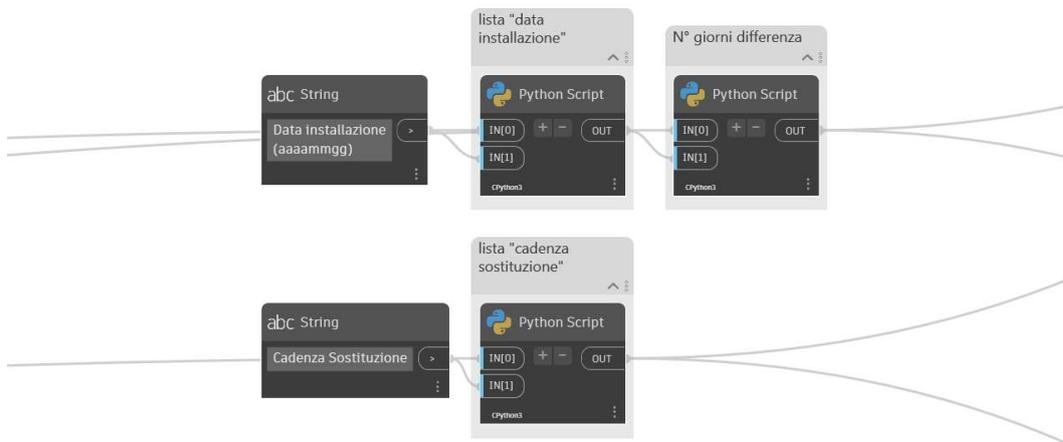


Figura 75: Parte 5 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.

In questo passaggio vengono ripetute le stesse operazioni del passaggio precedente ma effettuato sui parametri di **installazione** e **sostituzione**.

Viene quindi estratta la lista di date di installazione e individuati i giorni di differenza tra le date di installazione e le date di previsione costi.

Viene, quindi, estratta la lista di giorni di cadenza delle sostituzioni.

▪ PASSAGGIO 6



Figura 76: Parte 6 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.

Attraverso questo passaggio il nodo “**Python Script**” estrae una lista del numero di revisioni da effettuare alla data di previsione dei costi prendendo in ingresso la lista del numero di giorni di differenza e quella del numero giorni di cadenza delle revisioni ed effettuando una divisione.

Attraverso il nodo “**Element.SetParameterByName**” il parametro “N° Revisioni” richiamato dal nodo “**String**” viene compilato in Revit.

▪ PASSAGGIO 7



Figura 77: Parte 7 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.

Come visto per il passaggio precedente, in questo caso viene generata la lista del **numero di sostituzioni** alla data di previsione dei costi e settato il parametro in Revit attraverso il nodo “**Element.SetParameterByName**”.

▪ PASSAGGIO 8

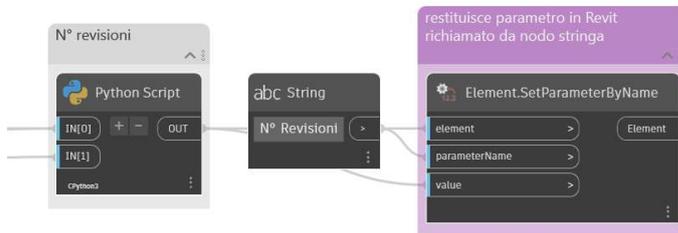


Figura 78: Parte 8 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.

In questo passaggio viene individuata la lista dei costi prevista delle revisioni ad una data futura definita.

Attraverso il primo nodo “**Python Script**” viene estratta la lista del costo unitario di revisione richiamando il parametro creato in Revit attraverso il nodo “**String**”.

Il secondo nodo “**Python Script**” definisce la lista dei costi della manutenzione ordinaria di ogni dispositivo aggiungendo un fattore di inflazione.

Prende, quindi, in ingresso il nodo stringa contenente il coefficiente di inflazione (PASSAGGIO 2), la lista del numero di giorni di differenza tra la data di previsione costi e la data di ultima revisione (PASSAGGIO 4), la lista di giorni della cadenza delle revisioni (PASSAGGIO 4) e la lista del costo unitario di revisione.

Per il calcolo totale a lungo termine dell’inflazione sui costi unitari di manutenzione periodici viene calcolata l’inflazione effettiva ad ogni revisione effettuata attraverso le seguenti formule matematiche integrate nel codice Python:

- **Inflazione effettiva**

$$i_{eff} = (1 + i_{annuo})^{\frac{cadenza\ revisione}{365}} - 1$$

i_{eff} = inflazione effettiva

i_{annuo} = tasso medio di inflazione annuale

$cadenza\ revisione$ = cadenza in giorni della revisione

- **Numero revisioni**

$$N = \frac{Tot.\ giorni}{cadenza\ revisione}$$

$Tot.\ giorni$ = giorni di differenza tra data previsione e data ultima revisione

- **Costo totale**

$$C_{tot} = C_0 * \sum_{i=0}^{n-1} (1 + i_{eff})^i$$

C_{tot} = costo totale

C_0 = costo unitario manutenzione

Definita la lista dei costi totali, i valori vengono associati al parametro presente in Revit “**Costo previsto revisione**”, richiamato dal nodo “**String**”, attraverso il nodo “**Element.SetParameterByName**”.

▪ **PASSAGGIO 9**

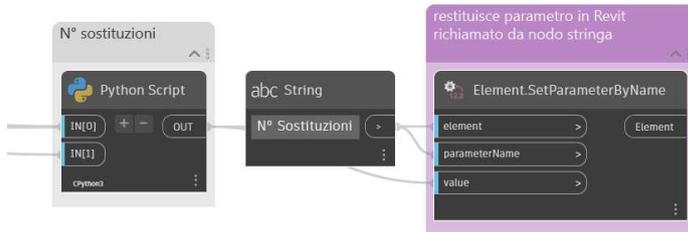


Figura 79: Parte 9 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.

Come nel passaggio precedente vengono definiti i **costi totali previsti** ma per le **sostituzioni**, quindi, viene definita la lista dei costi unitari per le sostituzioni e definito il costo totale, tenendo in considerazione l’inflazione, per la sostituzione di ogni dispositivo alla data prevista e settati i valori del parametro “**Costo previsto sostituzioni**” all’interno dell’editor di Revit.

5.5.5.2 Visualizzazione dei parametri

Definito il codice in Dynamo, i valori dei parametri ottenuti attraverso le operazioni possono essere inserite all'interno di un **abaco** attraverso la selezione dei **campi** per facilitare la lettura dei dati.

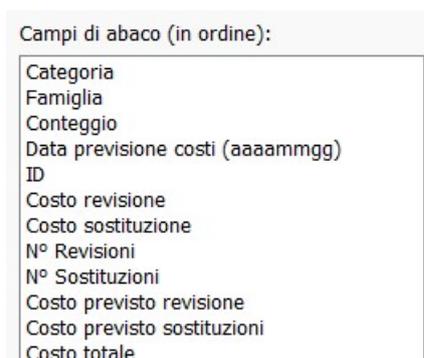


Figura 80: Schermata ambiente Revit® Campi proprietà abaco.

Selezionati i campi e definito l'**ordinamento**, **raggruppamento** e **formattazione** dell'abaco è stato possibile calcolare il **totale generale** della sommatoria dei costi delle manutenzioni e sostituzioni ad una data futura scelta.

Costi previsti manutenzione ordinaria							
ID	Costo revisione	Costo sostituzione	N° Revisioni	N° Sostituzioni	Costo previsto revisione + INFLAZIONE 2%	Costo previsto sostituzioni + INFLAZIONE 2%	Costo totale + INFLAZIONE 2%
907817	1.00€	1.00€	50	9	64.33€	11.55€	75.88€
908246	1.00€	1.00€	50	9	64.33€	11.55€	75.88€
908273	1.00€	1.00€	52	9	67.63€	11.55€	79.18€
908303	1.00€	1.00€	52	9	67.63€	11.55€	79.18€
908327	1.00€	1.00€	50	9	64.33€	11.55€	75.88€
Luce faretti su supporto							
20500101							
840975		1.00€	0	2	0.00€	2.22€	2.22€
841000		1.00€	0	2	0.00€	2.22€	2.22€
861166	1.00€	1.00€	50	2	64.33€	2.22€	66.55€
861166	1.00€	1.00€	50	2	64.33€	2.22€	66.55€
			654	25	842.89€	27.64€	870.53€
Totale generale			1459	711	1878.79€	928.89€	2807.68€

Figura 81: Stralcio Scheda costi previsti manutenzione ordinaria.

È importante sottolineare che i costi unitari sono stati utilizzati come riferimento generico, stabilendo un valore simbolico di un euro.

Questo approccio ci consente di concentrarci sul **processo** e sulla **metodologia** di calcolo, piuttosto che sul prezzo reale. L'obiettivo principale di questo esercizio non è rappresentare un costo reale atteso a una data futura, ma, piuttosto, evidenziare i passaggi e le variabili che influenzano il risultato finale enfatizzando il metodo utilizzato.

5.6 Interoperabilità del modello

Il file **Elettrico_Carignano.rvt** viene collegato al modello **Architettonico_Carignano.rvt** definito precedentemente, questo ci permette di visualizzare i due modelli **sovrapposti** e gli ambienti che verranno visualizzati all'interno delle applicazioni immersive che vedremo avanti.



Figura 82: Vista interna del modello architettonico con modello elettrico collegato.

Verificata la bontà del modello **Elettrico_Carignano.rvt** questo può essere esportato nei vari formati disponibili, in particolare si procede a settare le impostazioni di export del formato **IFC**.

È essenziale estrarre tutti i parametri di progetto.



Figura 83: Schermata settaggi di export IFC.

Questo formato ci permette di “congelare” al momento dell’export tutte le informazioni aggiunte al modello fino a quel momento, permettendoci di accedervi tramite un **visualizzatore** che ci consente di **esplorare** il file in tutte le sue caratteristiche.

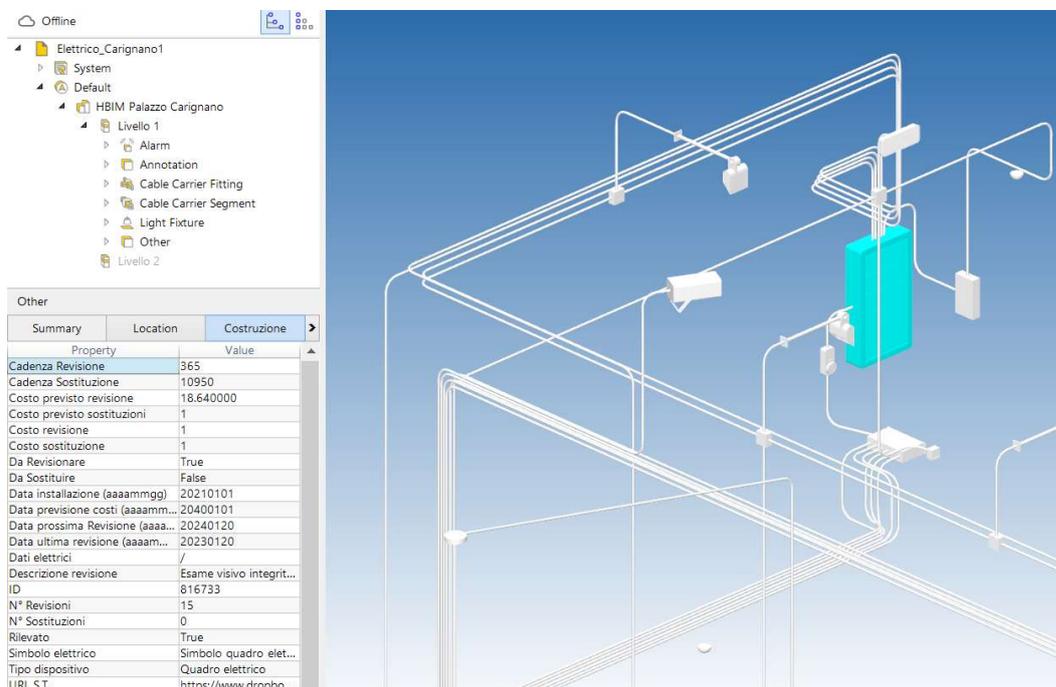


Figura 84: Visualizzazione del modello e delle informazioni in BIMcollab Zoom.

Il file IFC, basato su uno **standard aperto**, permette la **condivisione** delle informazioni del modello senza vincoli legati a un software proprietario specifico. In questo modo, chiunque, indipendentemente dalle risorse software a disposizione, può accedere ai dati e utilizzarli secondo le proprie necessità, favorendo la **cooperazione** tra professionisti di diverse discipline e settori.

Nel caso specifico, si pensi ad un'azienda incaricata della manutenzione degli impianti, questa potrà accedere al modello informativo generato in fase di progettazione e sfruttare il file IFC come base per creare la propria **infrastruttura di gestione** degli impianti. Attraverso l'integrazione delle informazioni, l'azienda può organizzare piani di manutenzione, ottimizzare i tempi di intervento e ridurre i costi operativi.

Tuttavia, questo formato non ci permette di gestire **aggiornamenti automatici** del modello, il file deve essere sostituito manualmente o sincronizzato dai progettisti per poter aggiornare i dati.

Per ovviare a questa problematica, come vedremo più avanti, l'applicativo di realtà aumentata rende i **dati dinamici** grazie alla loro gestione nel **Realtime Database di Firebase**, che consente **invio, ricezione e aggiornamento bidirezionale**, portando così il concetto di **interoperabilità** a un **livello superiore**.

6 Workflow applicativi

Per la gestione di un applicativo di realtà aumentata e virtuale, è essenziale identificare il software più adeguato alla creazione e la gestione del progetto. Tra i vari motori di sviluppo commerciali, spiccano sicuramente **Unity** e **Unreal Engine**, due strumenti concepiti per il mondo del gaming, che hanno trovato una vasta applicazione anche in altri settori. Questi due motori sono strumenti potenti per integrare modelli tridimensionali e generare interazioni immersive, ma si differenziano notevolmente per diversi aspetti, tra cui la facilità d'uso e l'impatto grafico.

Unity è noto per la sua interfaccia intuitiva e la **facilità d'apprendimento**, che lo rendono particolarmente adatto anche a sviluppatori e progettisti alle prime armi. La sua **versatilità** si estende oltre il gaming, facendo di Unity uno strumento molto popolare per sviluppare applicazioni che coinvolgono esperienze interattive e applicazioni AR/VR. Inoltre, la community di supporto è estremamente vasta e ben strutturata, garantendo numerose risorse, tutorial, e un ampio marketplace di asset per velocizzare lo sviluppo.

Unreal Engine, d'altra parte, è apprezzato soprattutto per la **qualità grafica** fotorealistica che è in grado di offrire, grazie a un potente sistema di rendering e strumenti avanzati come il Lumen e il Nanite. Tuttavia, questa capacità di offrire un impatto visivo superiore ha un costo in termini di complessità. Unreal Engine richiede generalmente più risorse e un apprendimento più impegnativo.

La scelta di Unity, nel contesto di un applicativo di realtà aumentata o virtuale, è motivata principalmente dalla sua facilità di **integrazione** con altri strumenti, in particolare **Firestore**. Firestore, la piattaforma di backend sviluppata da Google, si integra molto meglio con Unity grazie alla disponibilità di SDK dedicati e plugin ufficiali, che semplificano la gestione

dei dati in tempo reale, l'autenticazione degli utenti, e la sincronizzazione dei contenuti. Questo rende Unity una scelta ideale, come in questo caso, dove è necessario collegare l'applicativo a un database per archiviare dati utente, gestire l'interazione dinamica o inviare notifiche in tempo reale.

6.1 Applicativo di realtà aumentata AR

La creazione di questo applicativo nasce dall'idea di poter gestire le fasi di **manutenzione** visualizzando attraverso un dispositivo mobile i dispositivi da revisionare direttamente nell'ambiente di lavoro e comunicare gli aggiornamenti direttamente al software di progettazione, creando un ecosistema automatizzato e interoperabile.

Il processo per la creazione dell'applicativo, parte dalla creazione di un nuovo progetto e dalla scelta del giusto template attraverso l'**Unity Hub**, in questo caso il template **AR Mobile** ci permette di configurare le giuste impostazioni dell'ambiente di lavoro per l'utilizzo della realtà aumentata.

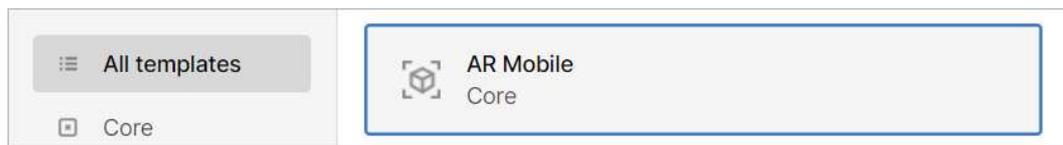


Figura 85: Schermata Unity Hub di selezione del template.

Le fasi di lavoro che implicano la selezione della versione di lavoro, installazione di pacchetti e settaggi nelle impostazioni di progetto per la “Build” dell'applicativo, non verranno trattati in questa tesi, in quanto verrebbero trattate in maniera superficiale, il lavoro di setting viene gestito attraverso le varie guide e tutorial riscontrabili nel web e non vengono approfondite ulteriormente.

In questo lavoro l'attenzione viene posta sui componenti e gli asset necessari per la gestione e configurazione della scena.

Il template **AR Mobile** aggiunge di default alla scena diversi componenti chiamati GameObject visualizzabili nella Hierarchy:

- **XR Origin (AR Rig)** che rappresenta l'origine del sistema di coordinate, fungendo da base per gestire l'interazione e il movimento all'interno dell'ambiente virtuale attraverso una **Main Camera**.
- **AR Session** che è essenziale per far funzionare correttamente l'app AR, poiché consente di connettere il dispositivo con il sistema di tracking e ha la responsabilità di avviare, interrompere, riprendere e terminare la sessione AR a seconda dello stato dell'applicazione.
- **EventSystem** è un componente chiave per la gestione degli input e delle interazioni tra gli oggetti nella scena, ed è particolarmente utilizzato per gestire eventi come i clic su pulsanti, i tocchi dello schermo, e altre forme di input interattivi.

All'interno della scena vengono aggiunti di default anche altri GameObject che non sono essenziali per lo sviluppo dell'applicativo.

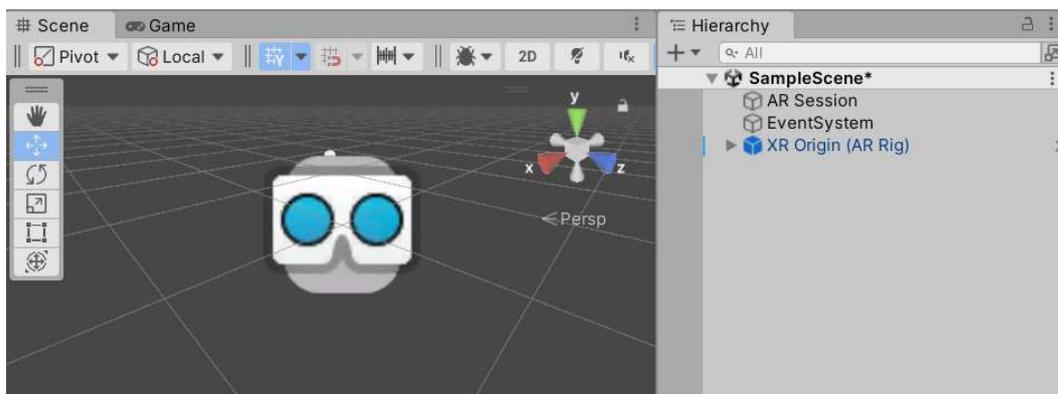


Figura 86: Schermata iniziale dell'editor di Unity.

La scena, quindi, grazie al template AR Mobile è ben settata per poter importare al suo interno gli **asset 3D** del modello elettrico e architettonico costruito in Revit.

Purtroppo, il formato IFC non viene letto da questi software e l'informazione collegata agli oggetti 3D attraverso l'import viene persa, ma grazie al lavoro fatto precedentemente con Dynamo e l'invio di dati al **Realtime Database**

di **Firestore** è stato possibile attribuire agli oggetti le informazioni necessarie.

Inoltre, questo ci permette di avere sempre i dati aggiornati in tempo reale potendo modificare il dato in ambedue le direzioni, attraverso l'applicativo di realtà aumentata e attraverso il software di progettazione come vedremo più avanti nella costruzione delle interazioni.

Anche in questo caso viene tralasciato il lavoro di configurazione e installazione di pacchetti all'interno del progetto per il giusto settaggio di firestore, lo stesso firestore, accedendo al sito ufficiale, ci offre una guida dettagliata per implementare queste funzionalità.

In questo caso specifico, attraverso il software Revit, il modello elettrico viene esportato in formato **fbx**, quindi importato all'interno dell'editor di Unity.

In fase di importazione di un modello nella scena è possibile settare nell'inspector dell'asset le impostazioni di import, quindi, nel caso del modello elettrico viene selezionata la voce "**Generate Colliders**", questo aggiunge ad ogni elemento un "colliders" che definisce un'area tridimensionale necessaria per gestire le interazioni di click sull'oggetto per l'attivazione degli eventi.

Importati gli asset 3D, inseriti nella scena e assegnato un materiale, questi saranno visibili all'interno della Hierarchy e gestiti separatamente.

Il formato fbx esporta il modello generando un'unica superficie per ogni dispositivo e assegna loro un nominativo così composto: nome della famiglia, nome del tipo seguito dall'identificativo numerico tra parentesi quadra (nomefamiglia nometipo [ID]).

Questo ci permette di associare, ad ogni oggetto importato, la scheda informativa e il dato presente nel database online.

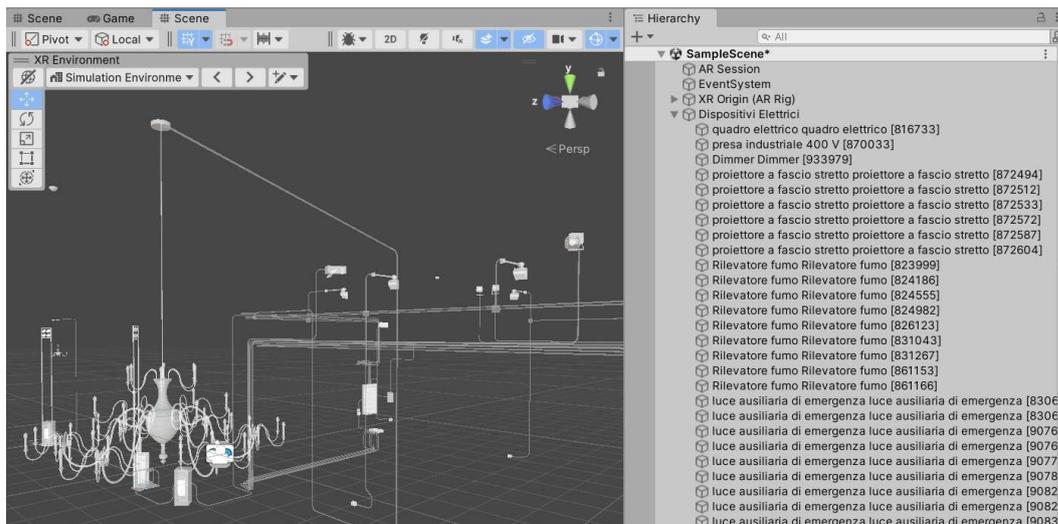


Figura 87: Schermata editor di Unity con modelli elettrici importati.

Per **posizionare** e **sovrapporre** il modello 3D all'interno dell'ambiente reale ci si avvale di un'**immagine target** che inquadrata attraverso la fotocamera del dispositivo mobile posiziona il modello nell'ambiente, bloccando, in questo specifico caso, l'angolo tra la base e l'asse verticale in modo da avere il piano base del modello sempre parallelo al pavimento. Per gestire questa interazione ci si avvale di componenti già presenti nelle librerie Unity come lo script "**ARTrackedImageManager**"

Viene inoltre gestito il posizionamento dell'oggetto attraverso degli **slider** che permettono di muovere il modello lungo i tre assi e ruotarlo rispetto ad un punto per sovrapporlo precisamente all'ambiente reale.

Vengono definite le **interazioni** dell'applicativo interagendo con le seguenti icone:



Cliccando su questa icona, visibile a schermo nell'applicativo, vengono visualizzati gli **slider** per consentire il posizionamento preciso del modello.



Figura 88: Schermata applicativo AR, visualizzazione degli slider.



Attraverso questa icona è possibile **posizionare** l'oggetto anche in assenza dell'immagine target.



Cliccando su questa icona viene applicato uno **sfondo bianco** per facilitare la visualizzazione del modello in ambienti diversi da quello al quale deve essere sovrapposto.



Questa icona permette di **resettare** il posizionamento del modello



Premendo su questa icona è possibile **visualizzare** il **modello architettonico** e gestirne la **trasparenza** attraverso uno slider, questo ci permette di sovrapporre il modello architettonico a quello reale per aiutarci a verificare la bontà del posizionamento dei modelli.



Figura 89: Schermata applicativo AR, visualizzazione del modello architettonico in trasparenza gestita dallo slider.

Vengono successivamente create le **schede informative** da associare ad ogni dispositivo e attivabili cliccando direttamente sui dispositivi visualizzati a schermo.

Le schede informative vengono generate attraverso il GameObject **Canvas**.

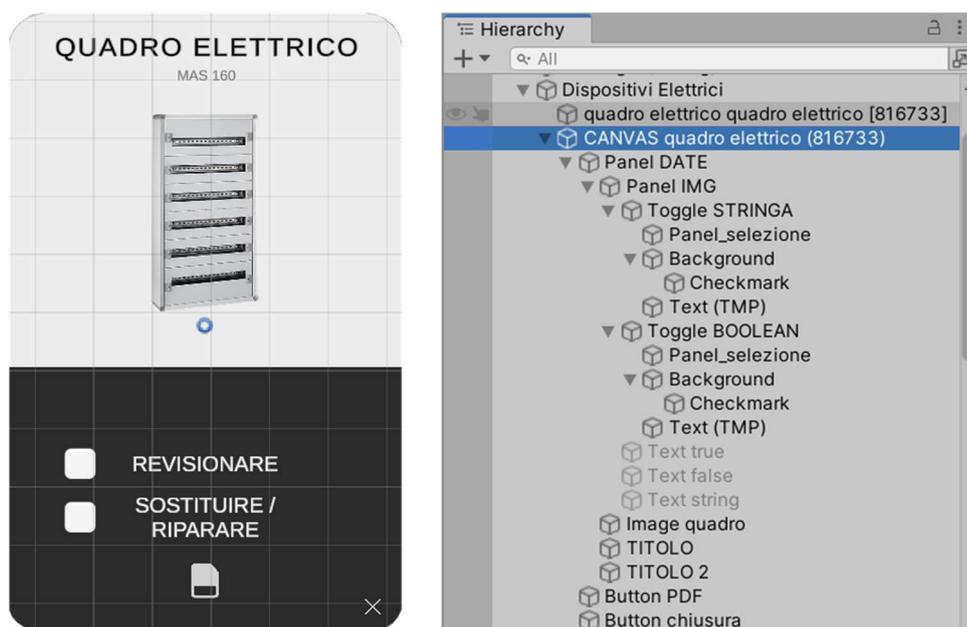


Figura 90: Scheda informativa quadro elettrico e sua struttura nella Hierarchy.

Attraverso la Hierarchy è possibile visualizzare la struttura del Canvas, i componenti servono per inviare e ricevere le informazioni dal realtime database e visualizzare le schede tecniche del dispositivo.

Il realtime database come abbiamo visto in precedenza presenta una struttura “**chiavi-valori**”, una lista di nomi al quale è associato un valore booleano o stringa.

Attraverso la creazione di uno script C# “**FamilyDataSeting**” è possibile gestire tutte le interazioni nell’inspector.

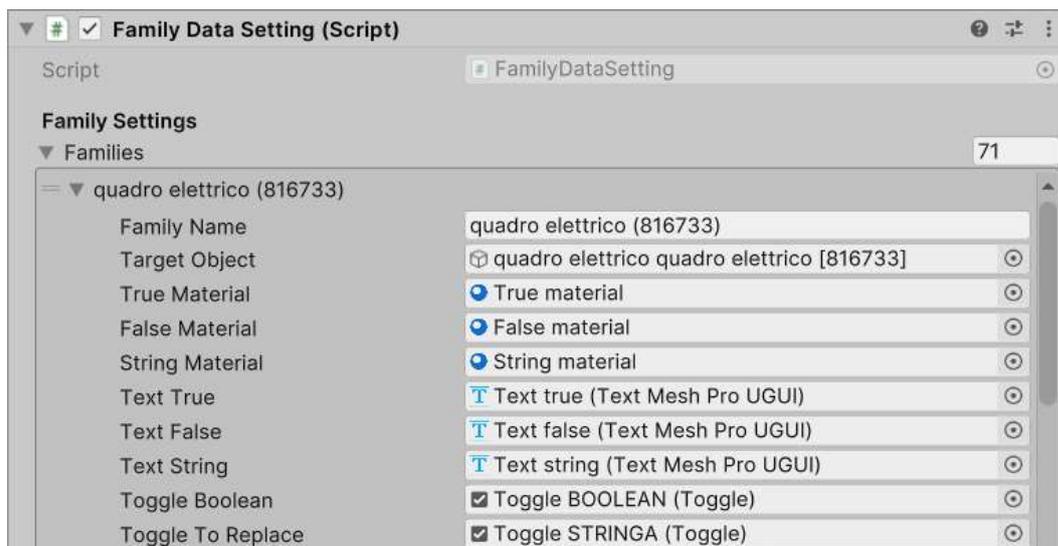


Figura 91: Schermata inspector dei settaggi dello script FamilyDataSeting.

Nel codice viene prima di tutto **inizializzato Firebase** per accedere e interagire con la lista dati presente nel realtime database.

Nel “**Family Name**” viene inserito il nome chiave presente nel database di firebase, dal quale viene estratto il valore e associato all’oggetto 3D nella scena attraverso il “**Target Object**”

Associato il nome chiave all’oggetto, nella scena vengono settati i materiali, i testi visualizzati a schermo, in base allo stato, e associati i **toggle** con i quali sarà possibile interagire con la lista dati. A livello di codice, ai toggle viene associato un **listener** per monitorare i cambiamenti in tempo reale nel database e cambiarne lo stato in base al valore in ingresso.

Se il valore in ingresso dal database è **false** questo non implica nessun cambio di stato dell’oggetto, a livello di manutenzione significa che il dispositivo è stato revisionato, verrà visualizzato il testo **REVISIONATO** e i toggle disattivati.

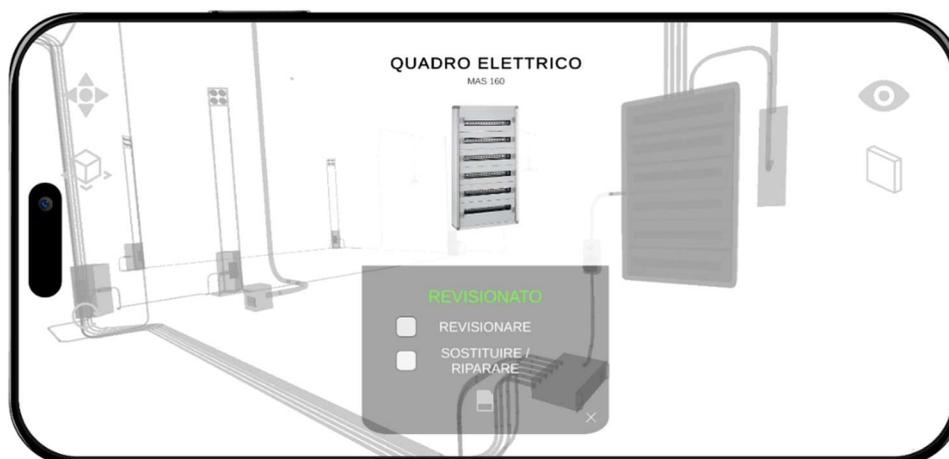


Figura 92: Schermata applicativo AR, visualizzazione della scheda quadro elettrico nello stato REVISIONATO.

Se riceve un valore **true**, dal punto di vista della manutenzione, significa che il dispositivo ha bisogno di essere revisionato, quindi il toggle “REVISIONARE” viene attivato, questo comporta un cambio del materiale dell’oggetto e la comparsa del testo **REVISIONARE** che ne indica lo stato.

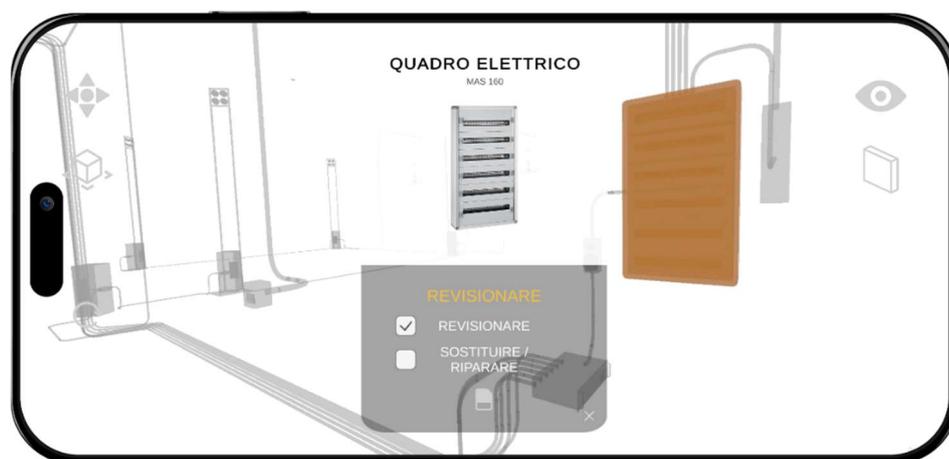


Figura 93: Schermata applicativo AR, visualizzazione della scheda quadro elettrico nello stato REVISIONARE.

Se lo stato del toggle è attivo, il dispositivo è da revisionare. Effettuata la revisione, il manutentore disattiva il toggle per portare lo stato del dispositivo da **REVISIONARE** a **REVISIONATO**. Attraverso questa

azione il valore booleano true diventa un valore stringa “REVISIONATO” e la lista nel realtime database viene aggiornata.

Questo porta all’interno del codice Dynamo, visto precedentemente nel capitolo 5.5.4.1, a ricevere il valore stringa “REVISIONATO” (PASSAGGIO 7), dove, il nodo **aggiorna** la **data di ultima revisione** alla data odierna gestendo in automatico questa operazione e aggiornando di conseguenza la data di prossima revisione.

È possibile, inoltre, gestire il toggle “SOSTITUIRE/RIPARARE”, questo permette al manutentore, durante le fasi di revisione, di marcare il dispositivo non funzionante attraverso l’attivazione di questo toggle, che mostra a schermo il testo **SOSTITUIRE** cambiandone lo stato e il materiale associato.

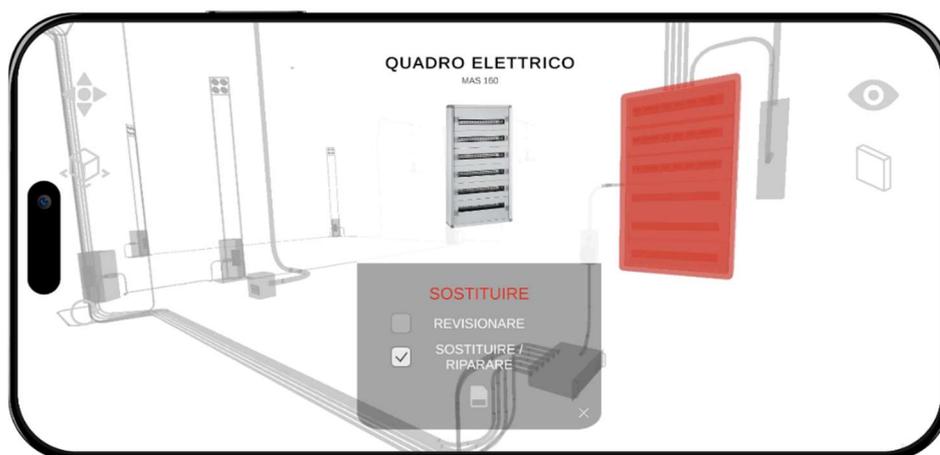


Figura 94: Schermata applicativo AR, visualizzazione della scheda quadro elettrico nello stato SOSTITUIRE.

Il valore nella lista del database viene aggiornato inserendo il valore stringa “SOSTITUIRE”. Il codice Dynamo legge il valore in ingresso dal database (PASSAGGIO 5) e aggiorna in realtime il parametro booleano “Da Sostituire” rendendo visibile nella vista e negli abachi il cambio di stato.

È possibile visualizzare un video dimostrativo delle interazioni tra applicativo e software Revit accedendo al seguente link o codice QR.

https://www.youtube.com/watch?v=zYJdejYvR_s&ab_channel=FrancescoPizzutoli



Di seguito è possibile visualizzare un **diagramma di sequenza UML** (Unified Modeling Language) che rappresenta il flusso temporale delle interazioni tra utenti, software di progettazione, database e applicativo.

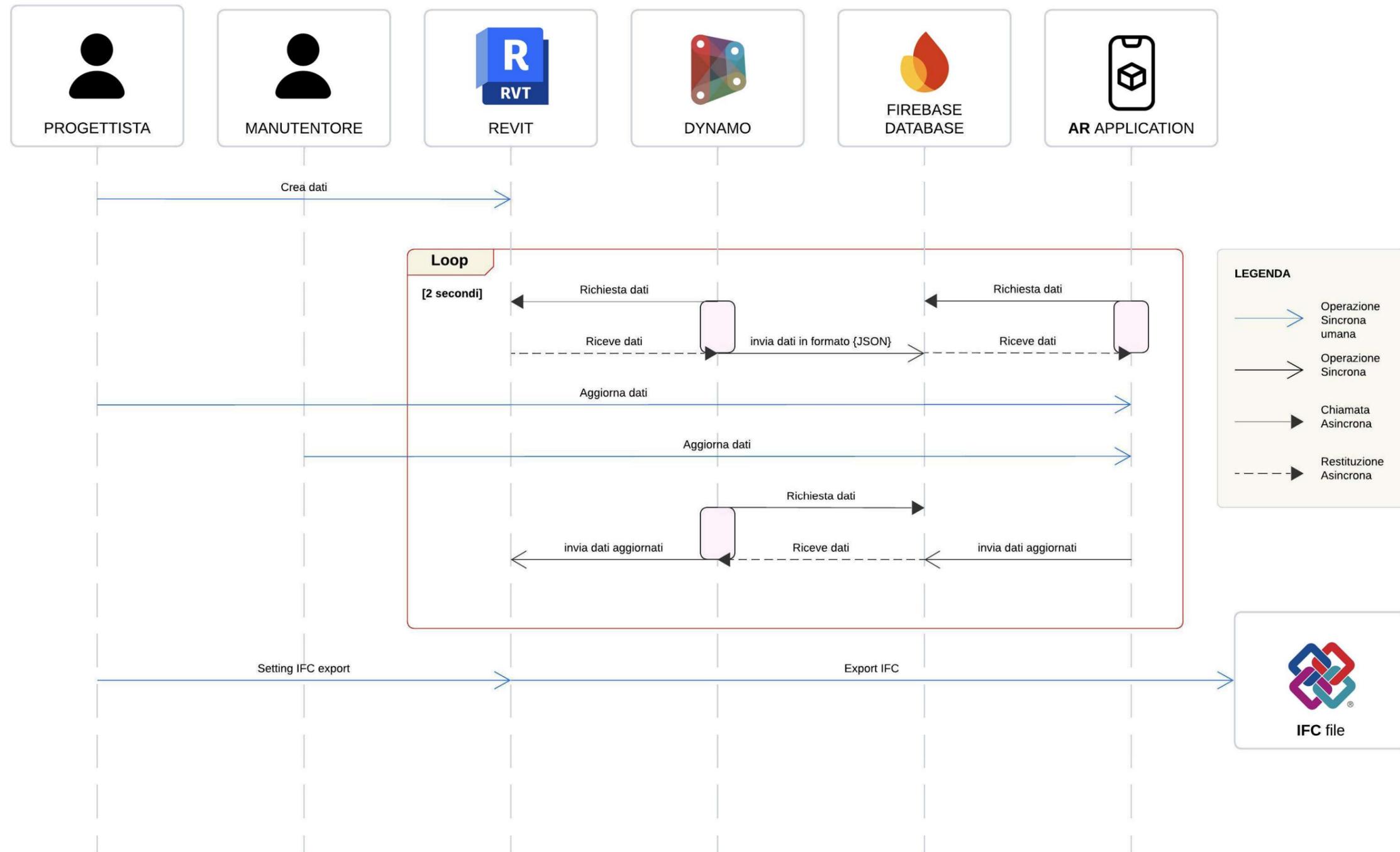


Figura 95: Diagramma di sequenza UML

6.2 Applicativo di realtà virtuale VR

Per gestire la **fase preparatoria** alla manutenzione è stata sviluppato un applicativo di realtà virtuale che permette al manutentore di **visualizzare in anticipo** tutte le informazioni necessarie dell'ambiente in cui dovrà operare.

Una rappresentazione virtuale dettagliata con la quale poter interagire e comprendere il **posizionamento dei dispositivi** e il **percorso dei circuiti** elettrici presenti.

Questo approccio, in situazioni di grande complessità, attraverso questa fase preparatoria, riduce i rischi e i tempi di operazione grazie alla comprensione diretta del contesto.

Per lo sviluppo dell'applicativo, attraverso l'Unity Hub viene selezionato il giusto template per la creazione di un nuovo progetto.



Figura 96: Schermata Unity Hub di selezione del template.

Attraverso il template VR vengono aggiunti di default alla scena diversi componenti, tra questi è indispensabile l'**XR Origin (XR Rig)** che rappresenta l'origine del sistema di coordinate, fungendo da base per gestire l'interazione e il movimento all'interno dell'ambiente virtuale attraverso una **Main Camera** e soprattutto grazie al GameObject **Locomotion** che gestisce il movimento dell'utente nella scena attraverso i comandi dei controller.

Il passo successivo è stato quello di importare all'interno dell'editor il modello architettonico in formato **fbx** e il modello elettrico in formato **obj**.

Il formato obj diversamente dal formato fbx, utilizzato nell'applicativo AR, genera una superficie per ogni componente che compone un singolo dispositivo elettrico, questo ci permette di poter attribuire diversi materiali al singolo dispositivo e quindi rendere la scena più reale e immersiva.

A tutti gli oggetti 3D del modello viene aggiunto il componente **mesh collider** per permetterne l'interazione.

Gli elementi presenti nella scena vengono settati in **modalità statica**, questo ci permette di “cucinare” la scena e ottimizzare la fase di rendering migliorando le prestazioni dell'applicativo. In pratica l'interazione dell'**illuminazione** sulle varie superfici viene **precalcolata** salvando una **lightmap**, questo ci permette di ottenere un'illuminazione realistica senza dover calcolare ombre e riflessi in tempo reale riducendo significativamente il carico computazionale durante l'esecuzione dell'applicativo.

Questo passaggio è fondamentale per ottenere un'alta qualità di visualizzazione in applicativi VR utilizzabili su visori standalone, diversamente non sarebbe possibile per la capacità di calcolo del dispositivo riprodurre in tempo reale le interazioni della luce.

Vengono quindi aggiunti alla scena i GameObject **Directional Light** in modalità “Baked” e associati ai dispositivi di illuminazione per rendere la scena più realistica.

Successivamente vengono gestite le **interazioni** tra i dispositivi e le schede informative. Vengono creati i canvas delle **schede informative** per ogni tipologia di dispositivo e popolate da informazioni utili al manutentore.

Queste schede sono attivabili attraverso l'interazione del controller sull'oggetto visibile a schermo.



Figura 97: Schermata applicativo VR, attivazione della scheda informativa attraverso l'interazione con il dispositivo selezionato.

Vengono definite le **interazioni** dell'applicativo interagendo con le seguenti icone:



Selezionando questa icona è possibile **visualizzare** a schermo un **video informativo** che mostra l'operazione di manutenzione del dispositivo.



Questa icona permette di accedere alla **scheda tecnica** di prodotto.

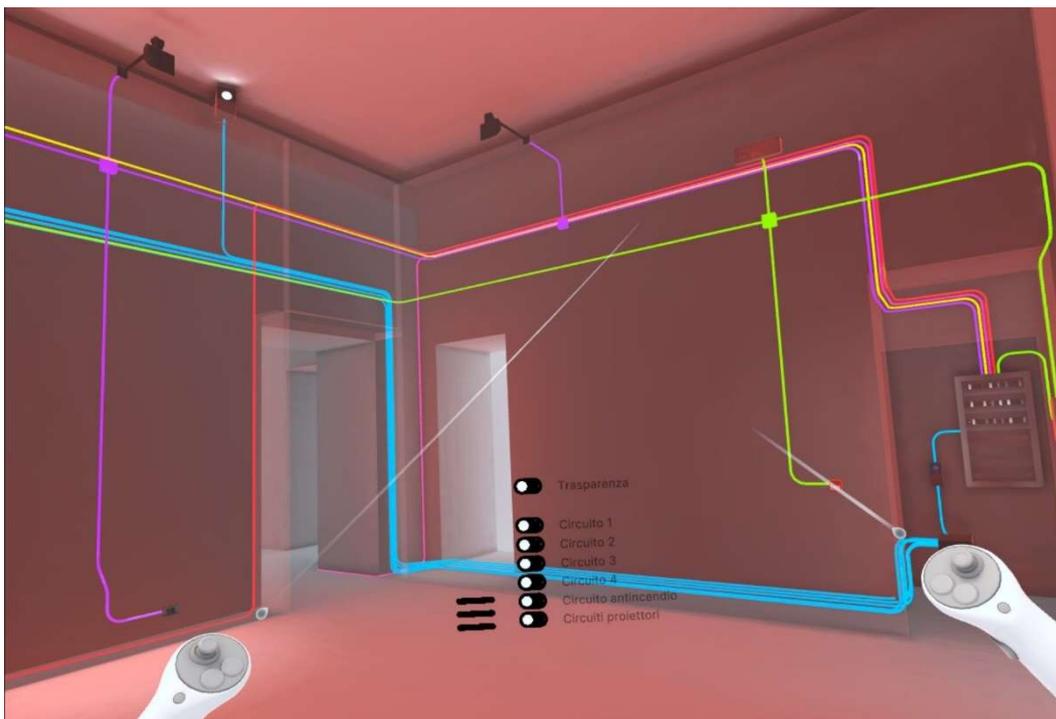


Figura 98: Schermata applicativo VR, attivazione del toggle di trasparenza delle contropareti e dei toggle di marcatura dei circuiti.

Viene inoltre visualizzata a schermo un'**icona menù**.



Selezionata questa icona vengono visualizzati i toggle.

Attraverso la loro attivazione è possibile mettere in **trasparenza** le **contropareti** che nascondono i cablaggi e **marcare** i **circuiti** per facilitare la comprensione del loro percorso.

È possibile visualizzare un video dell'applicativo accedendo al seguente link o codice QR.

https://www.youtube.com/watch?v=xcqAVIHxQ1Q&ab_channel=FrancescoPizzutoli



Conclusioni

I risultati ottenuti dimostrano come l'approccio all'**interoperabilità** per la creazione di un **ecosistema** utile alle fasi di manutenzione offra soluzioni efficaci per migliorare l'accesso e la comunicazione delle informazioni tra le figure coinvolte. Il metodo non è prerogativa dell'H-BIM, è applicabile anche ad opere di nuova costruzione.

I **limiti fisici**, in campo H-BIM, nella fase di **rilievo** (porzioni di impianto mascherate) ci suggeriscono che la fase di restituzione del modello esistente debba essere dilatata nel tempo, alcune porzioni possono essere ipotizzate ma ben dichiarate all'interno del modello e successivamente aggiornate durante le fasi di gestione.

Questo studio rappresenta solo la base per l'implementazione di nuove tecnologie di gestione di un edificio.

La crescente tendenza a digitalizzare ogni piccolo aspetto di un edificio, ci conduce sempre di più al raggiungimento del "**Digital twin**", un gemello digitale che non si limita a integrare tutte le caratteristiche geometriche e informative dell'edificio, ma integra anche sensori **IoT** (Internet of Things) per monitorare in tempo reale parametri essenziali.

Questi parametri ci consentono, oltre che a **monitorare** lo stato dell'edificio e **segnalare** autonomamente eventuali guasti, con l'ecosistema adeguato, di rendere i **sistemi autonomi**, in grado di rispondere in tempo reale alle condizioni ambientali e alle esigenze operative dell'edificio in un dato istante.

Grazie alle tecniche di **manutenzione predittiva**, che sfruttano l'analisi dei dati e l'intelligenza artificiale, i sistemi possono prevedere guasti confrontando i dati in ingresso con i dati storici, permettendo interventi preventivi e migliorando, quindi, l'efficienza operativa.

Questo approccio prolunga la vita degli impianti e garantisce un alto livello di conservazione, riducendo i costi di gestione complessivi.

L'**allocazione corretta delle risorse** diventa quindi un tema essenziale, specialmente per edifici pubblici, dove i costi ricadono sulla collettività, favorendo, quindi, una gestione più consapevole, sostenibile e garantendo l'accesso alle informazioni a tutti i contribuenti per raggiungere la massima trasparenza.

Questa tendenza verso la “massima digitalizzazione” ci porta anche ad interrogarci se il formato **IFC**, ad oggi riconosciuto come standard, possa rispondere adeguatamente a queste esigenze future.

Attualmente, il formato IFC cattura e “congela” le informazioni in un dato istante, ma sarebbe molto più utile un **formato dinamico**, che si evolva nel tempo e possa aggiornarsi autonomamente per accompagnare tutte le fasi manutentive e di gestione, standardizzando di fatto un nuovo processo.

Nel concreto, si potrebbe **ripensare** alla concezione del formato, non più un file statico, ma come una **struttura dati dinamica** ospitata in un **ambiente in cloud**. Ad oggi i file IFC, anche se ospitati su di un server cloud, devono essere aggiornati caricando le nuove versioni o tramite sincronizzazioni manuali.

L'approccio utilizzato in questo lavoro di tesi cerca di simulare, per quanto possibile, questo **approccio interoperabile e dinamico** tra i diversi applicativi.

Ovviamente questo presenta delle **sfide significative**, prima fra tutte la gestione dei costi dell'infrastruttura server. Chi deve sostenere questi costi?

Una possibile soluzione, in ambito pubblico, è quella che lo stato si faccia carico di questi costi per garantire un accesso pubblico e regolamentato di questi dati. Questo tipo di gestione centralizzata e statale non solo garantirebbe la salvaguardia delle informazioni, ma assicurerebbe anche la trasparenza e l'equità nell'accesso ai dati.

Altra sfida potrebbe essere quella di individuare la giusta tecnologia per gestire questi dati, la tecnologia **Blockchain** potrebbe essere utile considerando i vantaggi in termini di tracciabilità, sicurezza e garanzia del dato. Tema molto complesso e punto di partenza per implementare questo studio.

Naturalmente, tutto ciò richiede un **cambiamento** nelle **normative** e negli **standard di riferimento**, affinché supportino questi nuovi strumenti digitali. In sintesi, l'evoluzione dell'IFC da file statico a formato dinamico potrebbe essere un passo cruciale verso una gestione edilizia più avanzata e coordinata, ma richiede sia investimenti strutturali sia un impegno congiunto di tutte le parti coinvolte.

In conclusione, come emerge da questo studio, la figura dell'architetto e dell'ingegnere, oggi, è sempre più a contatto con **strumenti digitali complessi** con i quali deve interfacciarsi. È essenziale, in ottica futura, saper domare questi strumenti per poter mantenere il controllo del processo progettuale e poter implementare strumenti di gestione del ciclo di vita del manufatto, tema che in passato raramente veniva integrato nella fase di progettazione.

Questa maggiore complessità, quindi, non deve essere intesa come una barriera ma come un'azione necessaria per garantire il **risultato più efficiente**.

Indice delle figure

Figura 1: Evoluzione temporale della normativa in Italia, elaborazione personale.	14
Figura 2: Stadi di maturità della gestione di informazioni analogiche e digitali.....	16
Figura 3: Le dimensioni del BIM.....	20
Figura 4: Principio dell'ambiente di condivisione dati.....	22
Figura 5: Diagramma composizione schema dati IFC.....	25
Figura 6: Rappresentazione grafica del livello di sviluppo (LOD)	27
Figura 7: Esempio di diversi dettagli di una colonna alla stessa scadenza di consegna delle informazioni per scopi diversi: pianificazione del sito (A), conservazione del patrimonio (B)	29
Figura 8: Flusso informativo	32
Figura 9: Gerarchia dei requisiti informativi	33
Figura 10: Virtuality Continuum	52
Figura 11: Palazzo Carignano. Fotografia di Fabrizia Di Rovasenda, 2010. © MuseoTorino - Soprintendenza per i Beni Storici, Artistici ed Etnoantropologici del Piemonte	55
Figura 12: «Faccia esteriore del Palazzo del S.mo P.Filiberto di Savoia in Torino», e «Pianta del presente edificio», incisione in rame di Antonio De Pienne su disegno di Guarini, in Disegni d' architettura civile et ecclesiastica inventati et delineati dal Padre D. Guarino Guarini modenese de Chierici RegulariTheatini matematico dell'Altezza Reale di Savoia, cit. (BRT, V 38-39).	57
Figura 13: Palazzo Carignano, fotografia della Sala delle Stagioni di Paolo Mussat Sartor e Paolo Pellion di Persano, 2010. © MuseoTorino-Soprintendenza per i Beni Storici, Artistici ed Etnoantropologici del Piemonte.	60
Figura 14: Palazzo Carignano, progetto per il prospetto su Piazza Carlo Alberto. © Archivio Storico della Città di Torino	64
Figura 15: Scheda LOD del Quadro elettrico.....	69
Figura 16: Scatto personale della fase di rilievo.....	70

Figura 17: Focus della porzione di lavoro su vista assonometrica del modello tridimensionale di Palazzo Carignano.	72
Figura 18: Focus di dettaglio degli spazi modellati, spaccato assonometrico.	73
Figura 19: Rappresentazione planimetrica e assonometrica della famiglia infisso.....	74
Figura 20: Vista assonometrica della famiglia volta a schifo.	75
Figura 21: Spaccato Assonometrico del modello architettonico ridefinito.	75
Figura 22: Vista interna del modello architettonico ridefinito.....	76
Figura 23: Schermata nuovo progetto Revit®	77
Figura 24: Schermata ambiente Revit® di definizione delle tensioni.	78
Figura 25: Schermata ambiente Revit® di definizione dei sistemi di distribuzione.	78
Figura 26: Schermata ambiente Revit® della lista delle categorie elettriche presenti.	80
Figura 27: Rappresentazione dei livelli di dettaglio del quadro elettrico.	81
Figura 28: Lista dei simboli elettrici associati alle famiglie.	83
Figura 29: Schermata ambiente Revit® Strumento connettori.	83
Figura 30: Schermata ambiente Revit® strumento Forme.....	85
Figura 31: Schermata delle proprietà del componente connettore e rappresentazione assonometrica del quadro elettrico con simbolo del connettore elettrico.....	86
Figura 32: Schermata delle proprietà del parametro di Tipo per la definizione del diametro del tubo protettivo e rappresentazione assonometrica del quadro elettrico con i simboli associati del connettore tubo protettivo.	87
Figura 33: Rappresentazione dei diversi tipi della famiglia presa elettrica.	87
Figura 34: Rappresentazione assonometrica di una porzione del modello elettrico	88
Figura 35: Schermata ambiente Revit® di selezione del sistema di distribuzione.	89

Figura 36: Rappresentazione planimetrica di una porzione della pianta dei circuiti elettrici.	90
Figura 37: Abaco dei Circuiti elettrici.	90
Figura 38: Schermata ambiente Revit® dello strumento Dynamo.	91
Figura 39: Schermata ambiente Revit® Proprietà parametro condiviso.	93
Figura 40: Schermata ambiente Revit® Proprietà parametro di progetto.	94
Figura 41: Parte 1 del codice a nodi (ID) in ambiente Dynamo.	96
Figura 42: Parte 2 del codice a nodi (ID) in ambiente Dynamo.	97
Figura 43: Parte 3 del codice a nodi (ID) in ambiente Dynamo.	97
Figura 44: Rappresentazione planimetrica di una porzione della pianta ID.	98
Figura 45: Schermata ambiente Revit® Filtri di vista.	99
Figura 46: Vista assonometrica ortogonale degli elementi impiantistici rilevati e non rilevati.	100
Figura 47: Schermata ambiente Revit® Gestore immagini.	101
Figura 48: Stralcio abaco dei dispositivi elettrici.	102
Figura 49: Lista dei parametri condivisi e di progetto.	103
Figura 50: Liste dei parametri globali.	104
Figura 51: Parte 1 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	107
Figura 52: Parte 2 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	107
Figura 53: Parte 3 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	108
Figura 54: Parte 4 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	108
Figura 55: Parte 5 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	109
Figura 56: Parte 6 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	110
Figura 57: Parte 7 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	110

Figura 58: Parte 8 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	111
Figura 59: Parte 9 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	112
Figura 60: Parte 10 del codice a nodi (manutenzione) in ambiente Dynamo.	112
Figura 61: Schermata ambiente Revit® Filtri di vista.....	114
Figura 62: Porzione vista assonometrica ortogonale degli elementi impiantistici da revisionare o sostituire/riparare.	115
Figura 63: Schermata ambiente Revit® Campi proprietà abaco.....	116
Figura 64: Schermata ambiente Revit® Filtri proprietà abaco.....	116
Figura 65: Schermata ambiente Revit® Ordinamento/Raggruppamento proprietà abaco.....	117
Figura 66: Schermata ambiente Revit® Formattazione condizionale proprietà abaco.....	118
Figura 67: Stralcio Scheda Manutenzione / Sostituzione.	118
Figura 68: Scheda descrizione manutenzioni e Scheda sostituzioni.....	119
Figura 69: Lista dei parametri condivisi e di progetto.	120
Figura 70: Lista dei parametri globali.....	121
Figura 71: Parte 1 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.	122
Figura 72: Parte 2 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.	122
Figura 73: Parte 3 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.	123
Figura 74: Parte 4 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.	123
Figura 75: Parte 5 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.	124
Figura 76: Parte 6 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.	125
Figura 77: Parte 7 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.	125

Figura 78: Parte 8 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.....	126
Figura 79: Parte 9 del codice a nodi (previsione costi) in ambiente Dynamo.....	128
Figura 80: Schermata ambiente Revit® Campi proprietà abaco.	129
Figura 81: Stralcio Scheda costi previsti manutenzione ordinaria.	129
Figura 82: Vista interna del modello architettonico con modello elettrico collegato.	131
Figura 83: Schermata settaggi di export IFC.....	132
Figura 84: Visualizzazione del modello e delle informazioni in BIMcollab Zoom.	132
Figura 85: Schermata Unity Hub di selezione del template.	137
Figura 86: Schermata iniziale dell’editor di Unity.....	138
Figura 87: Schermata editor di Unity con modelli elettrici importati..	140
Figura 88: Schermata applicativo AR, visualizzazione degli slider.....	141
Figura 89: Schermata applicativo AR, visualizzazione del modello architettonico in trasparenza gestita dallo slider.	142
Figura 90: Scheda informativa quadro elettrico e sua struttura nella Hierarchy.....	143
Figura 91: Schermata inspector dei settaggi dello script FamilyDataSetting.	144
Figura 92: Schermata applicativo AR, visualizzazione della scheda quadro elettrico nello stato REVISIONATO.....	145
Figura 93: Schermata applicativo AR, visualizzazione della scheda quadro elettrico nello stato REVISIONARE.....	145
Figura 94: Schermata applicativo AR, visualizzazione della scheda quadro elettrico nello stato SOSTITUIRE.	146
Figura 95: Diagramma di sequenza UML	148
Figura 96: Schermata Unity Hub di selezione del template.	149
Figura 97: Schermata applicativo VR, attivazione della scheda informativa attraverso l’interazione con il dispositivo selezionato.	151
Figura 98: Schermata applicativo VR, attivazione del toggle di trasparenza delle contropareti e dei toggle di marcatura dei circuiti.....	152

Fonti

BIBLIOGRAFIA

- Cerri M. G., *PALAZZO CARIGNANO. Tre secoli di idee, progetti e realizzazioni*, Torino, Umberto Allemandi & C., (1990);
- Guerrini A., *Il Palazzo Carignano, s.l.*, Umberto Allemandi & C., (2008);
- De Luca L., *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, (2011);
- Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per Ingegneri e Architetti*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, (2012);
- Osello A., Ugliotti F. M., *BIM VERSO IL CATASTO DEL FUTURO. Conoscere, digitalizzare, condividere. IL CASO STUDIO DELLA CITTA' DI TORINO*, s.l., Gangemi editore, (2017);
- Furcolo N., BibLus-net, *GUIDA AL BIM. La rivoluzione digitale dell'edilizia*, s.l., BibLus-net, (2018), Ed. 2;
- Pozzoli S., Rossi P. R., Longo D., Gianninoto M., *Revit per impianti MEP. Guida avanzata per l'implementazione BIM di sistemi meccanici, idraulici ed elettrici*, Padova, tecniche nuove, (2020);
- Pozzoli S., Bonazza M., Villa W. S., *Revit 2023 per l'Architettura. Guida completa per la progettazione BIM. Strumenti avanzati, personalizzazione famiglie, modellazione volumetrica e gestione progetto*, Padova, tecniche nuove, (2022);
-

PUBBLICAZIONI

Eastman C., Fisher D., Lafue G., Lividini J., Stoker D., Yessios C., *An Outline of the Building Description System, (1974)*;

Bianchini C., Nicastro S., *La definizione del Level of Reliability. Un contributo alla trasparenza dei processi di Historic-BIM, (2018)*;

Bim Forum, *LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION. PART 1, GUIDE, & COMMENTARY, (2021)*;

Maiezza P., *AS-BUILT RELIABILITY IN ARCHITECTURAL HBIM MODELING, (2019)*;

NORMATIVA

UNI 11337-1:2017, *Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 1: Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi;*

UNI 11337-4:2017, *Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti;*

UNI 11337-5:2017, *Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 5: Flussi informativi nei processi digitalizzati;*

UNI/TR 11337-6:2017, *Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 6: Linea guida per la redazione del capitolato informativo;*

UNI 11337-7:2018, *Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 7: Requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa;*

UNI EN ISO 19650-1:2019, *Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 1: Concetti e principi;*

UNI EN ISO 19650-2:2019, *Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 2: Fase di consegna dei cespiti immobili;*

UNI EN ISO 19650-5:2020, *Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il*

Building Information Modelling - Parte 5: Approccio orientato alla sicurezza per la gestione informativa;

UNI/TR 11337-2:2021, Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 2: Flussi informativi e processi decisionali nella gestione delle informazioni da parte della committenza;

SITOGRAFIA

<https://biblus.acca.it/le-dimensioni-del-bim/>

<https://www.buildingsmartitalia.org/>

<https://adhox.it/digital-twin/>

<https://biblus.acca.it/bim-execution-plan-bep-cose-e-qual-e-il-suo-scopo/>

<https://blog.archicad.it/learn/il-bim-execution-plan-bep-aspetti-teorici-e-consigli-pratici>

<https://adhox.it/bim-edifici-storici/>

<https://www.infobuild.it/approfondimenti/ristrutturazione-impianti-edificio-storico/>

<https://www.insidemarketing.it/glossario/definizione/tecnologie-immersive/>

<https://learn.microsoft.com/it-it/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>

<https://www.interaction-design.org/literature/topics/virtuality-continuum>
