



I Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

L'utilizzo del DIM per il risparmio energetico nel
progetto DIMMER: il caso studio di Torino

DIMMER

Relatore:

Osello Anna

Candidato:

Screti Antonio

09 Ottobre 2019

Indice

1	Indice delle figure.....	3
2	ABSTRACT	6
3	Introduzione.....	7
3.1	Informazioni sull'arte della modellazione.....	7
4	DIMMER Project.....	8
4.1	Cos'è il progetto DIMMER.....	8
4.2	Obiettivi del progetto DIMMER.....	10
4.3	Casi studio DIMMER.....	11
5	Informazioni sulla modellazione.....	13
5.1	Evoluzione della modellazione.....	13
5.2	BIM.....	15
5.3	Interoperabilità DIMMER.....	18
5.4	EAM.....	19
5.5	DesignBuilder	20
5.6	EnergyPlus.....	22
6	Metodo di lavoro.....	24
6.1	Archivio storico	24
6.2	Archivio edilizio.....	27
6.3	Restituzione dei dati e modello architettonico.....	28
6.3.1	Informazioni e restituzione dei dati	28
6.3.2	EAM: Impostazione del modello energetico	36
6.3.3	EAM: esportazione modello energetico	41
6.3.4	DesignBuilder	44
7	EnergyPlus Simulazioni energetiche	54
7.1	Importare un modello in EnergyPlus.....	54
7.2	Impostazioni dei dati e validazione dei risultati delle simulazioni energetiche	55
8	Validazione del modello energetico	57
9	Creazione degli scenari	63
9.1	Impostazioni degli scenari.....	63
9.2	Scenari.....	64
9.2.1	Scenario 1: superfici trasparenti con termostato.....	64
9.2.2	Scenario 2: superfici opache con termostato.....	68

9.2.3	Scenario 3: peak shaving con termostato.....	70
10	Risparmio energetico ed analisi dei costi sugli ipotetici scenari	73
11	Conclusioni.....	77
12	Allegati.....	79
13	Bibliografia	80

1 Indice delle figure

FIG. 1: Logo DIMMER project.....	8
FIG. 2: Partners del DIMMER project. [1]	9
FIG. 3: District of Manchester.....	11
FIG. 4: Distretto di Torino.	12
FIG. 5: Distretti di Torino.....	12
FIG. 6: Storia del BIM. [4]	14
FIG. 7: Sviluppo della rappresentazione. [5]	15
FIG. 8: Sistema BIM.	17
FIG. 9: Interoperabilità fra professionisti.....	18
FIG. 10: Logo file gbXML.....	19
FIG. 11: Interfaccia software DesignBuilder.	21
FIG. 12: Logo EnergyPlus.	22
FIG. 13: Interfaccia software EnergyPlus.	23
FIG. 14: Mappa di Torino nel 1878. [8].....	24
FIG. 15: Pianta di Torino nel 1896. [9]	
24	
FIG. 16: Pianta di Torino e dintorni nel 1911. [10].....	25
FIG. 17: Mappa di Torino nel 1915. [11]	
25	
FIG. 18: Mappa del quartiere crocetta dopo i bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale.[12]	
.....	26
FIG. 19: Documentazione nell'archivio edilizio di Torino. [13]	27
FIG. 20: Stralci di abachi prima della semplificazione.....	28
FIG. 21: Stralci di abachi dopo la semplificazione.....	29
FIG. 22: Esempio di codifica dei livelli o pianta dei pavimenti.....	30
FIG. 23: Esempio di codifica di un elemento costruttivo tipo, muro in questo caso.	31
FIG. 24: Esempio di codifica dei materiali del modello.	32
FIG. 25: Parametri condivisi.....	35
FIG. 26: Modello tridimensionale con masse per i parametri condivisi.	35
FIG. 27: Comando locali.	36

FIG. 28: Numero locali del piano tipo ed analogo modello energetico tridimensionale relativo allo step 1.	37
FIG. 29: Comando "delimita il locale" selezionato.	37
FIG. 30: Comando "delimita il locale" deselezionato.	38
FIG. 31: Numero locali del piano tipo ed analogo modello energetico tridimensionale relativo allo step 2.	38
FIG. 32: Numero locali del piano tipo ed analogo modello energetico tridimensionale relativo allo step 3.	39
FIG. 33: Grafico sviluppo della semplificazione dei locali.	40
FIG. 34: Superfici analitiche.	40
FIG. 35: Impostazioni energetiche.	41
FIG. 36: Errori durante l'esportazione del modello energetico.	42
FIG. 37: Correzione degli errori durante l'esportazione del modello energetico.	43
FIG. 38: Importazione di un nuovo modello di DesignBuilder.	44
FIG. 39: Errori di importazione in DesignBuilder dal BIM.	45
FIG. 40: Errori di importazione in DesignBuilder dal BIM.	45
FIG. 41: Esportazione file DXF.	47
FIG. 42: Errori o mancanze dovute all'esportazione del file DXF.	47
FIG. 43: Errori o mancanze dovute all'esportazione del file DXF.	48
FIG. 44: Dettaglio dei balconi.	49
FIG. 45: Messaggio di importazione privo di errori.	49
FIG. 46: Impostazione del sistema HVAC.	50
FIG. 47: Radiatore ad acqua tipo.	51
FIG. 48: Esempio di simulazione energetica con DesignBuilder.	52
FIG. 49: Scheda della domanda di energia.	53
FIG. 50: Scheda di domanda di energia.	53
FIG. 51: Percorso di esportazione file .idf da DesignBuilder a EnergyPlus.	54
FIG. 52: Fase successiva del percorso di esportazione file .idf da DesignBuilder a EnergyPlus.	55
FIG. 53: Locazione dei sensori nell'appartamento campione.	57
FIG. 54: Grafana: grafico delle temperature misurate dei giorni 20, 21 Marzo 2016.	58
FIG. 55: Grafico delle temperature simulate nei giorni 20, 21 Marzo 2016.	58
FIG. 56: Firma energetica.	59

FIG. 57: Tabella fasce in relazione ai gradi giorno.....	61
FIG. 58: Quadro metodologico degli scenari.	63
FIG. 59: Impostazioni per lo scenario per il vetro.....	66
FIG. 60: Simulazione dei consumi di energia mensili distribuiti in un anno per lo scenario 1.....	66
FIG. 61: Percentuale di risparmio di energia relativo allo scenario 1.....	67
FIG. 62: Impostazioni per lo scenario per il tetto.	68
FIG. 63: Simulazione dei consumi di energia mensili distribuiti in un anno per lo scenario 2.....	69
FIG. 64: Percentuale di risparmio di energia relativo allo scenario 2.....	69
FIG. 65: Grafico della richiesta di energia fra i vari modelli.	71
FIG. 66: Simulazione dei consumi di energia mensili distribuiti in un anno per il peak shaving.....	71
FIG. 67: Percentuale di risparmio di energia relativo al peak shaving.....	72
FIG. 68: Resoconto dell'analisi economica relativo allo scenario 1.....	73
FIG. 69: Resoconto dell'analisi economica relativo allo scenario 2.....	75
FIG. 70: Resoconto dell'analisi economica relativo al peak shaving.	76

2 ABSTRACT

La modellazione parametrica è uno strumento di rappresentazione che negli ultimi anni ha preso sempre più il sopravvento sul disegno e di conseguenza sulla progettazione e “modellazione” di un manufatto o di un’intera area d’interesse.

L’avvento dei programmi parametrici ha permesso ai professionisti nel settore dell’ingegneria edile di sviluppare le proprie idee di progettazione condividendole con altre figure professioniste, come ingegneri energetici, idraulici o esperti in economia, i quali possono contribuire ad ottimizzare i tempi di realizzazione del progetto e i costi di progettazione e realizzazione.

Al giorno d’oggi, per vendere o affittare un edificio o un semplice appartamento, è obbligatorio presentare la certificazione energetica. Questo documento è molto importante per la procedura di vendita o affitto perché al suo interno si dichiara quanto un edificio consumi, ovvero in termini economici quale sarà la spesa per il suo utilizzo. Un ulteriore aspetto importante riguarda la salute degli inquilini, infatti vengono controllati i vari parametri sulla qualità dell’aria, della temperatura e dell’umidità relativa.

Analizzando tutto ciò con la modellazione e di conseguenza con la metodologia District Information Modeling (DIM), proposta nel progetto europeo District Information Modeling and Management for Energy Reduction (DIMMER), l’obiettivo di questa tesi è di applicare a scala urbana strumenti e metodi per un’efficace gestione in termini di efficienza energetica del patrimonio costruito.

Il processo di elaborazione della tesi si è sviluppato attraverso tre fasi principali: raccolta dei dati, modellazione, simulazione ed estrazione degli output e infine validazione del modello sulla base dei dati monitorati.

I risultati ottenuti hanno permesso di identificare una metodologia di lavoro applicabile in altri contesti configurandosi quindi come un modello di riferimento per altre città oltre a quelle prese in esame durante il progetto DIMMER.

3 Introduzione

La modellazione digitale oggi ha preso il posto dell'arte, in particolare del disegno. La progettazione di un manufatto viene realizzato dall'ingegno dell'uomo con l'aiuto del computer.

Nella presente tesi, è stato sviluppato un metodo di lavoro, che può gettare le basi per i metodi futuri, partendo da un modello tridimensionale completo nei suoi componenti, il metodo permette di analizzare allo stesso tempo l'aspetto energetico. Questo è stato possibile grazie all'interpolazione fra diversi software, attraverso i quali sono stati creati dei parametri fondamentali per l'intero processo, passando da software per le simulazioni e le validazioni fra i risultati reali e quelli simulati.

Alla fine del processo sono state valutate diverse ipotesi di ristrutturazione sostituendo le parti dell'involucro trasparente, l'involucro opaco. Nel primo caso si è passati da un vetro singolo degli anni '70 ad un doppio vetro con intercapedine, mentre nel secondo caso è stato realizzato un cappotto, un'ulteriore ipotesi denominata peak shaving.

Effettuate le simulazioni energetiche per entrambe le ipotesi, la fase successiva e finale è stata quella di confrontare su un'analisi di miglioramento energetico e di ritorno economico dell'investimento per le ipotesi effettuate.

3.1 Informazioni sull'arte della modellazione

Dalle origini dell'uomo, la restituzione grafica è stata un'abilità che gli ha permesso di rappresentare, con semplici strumenti, di rappresentare un pensiero, un'idea o un oggetto che vedeva per la prima volta.

Le pitture rupestri sono quelle pitture riportate sulle pareti di una grotta, o su muri o soffitti di pietra, risalenti alla preistoria. I soggetti più comuni nelle pitture rupestri sono i grandi animali selvaggi, come il bisonte. Col passare del tempo, grazie al proprio intelletto, l'uomo ha inventato nuove tecnologie e forme di rappresentazione, per essere più preciso ed interconnesso con tutti i nuovi progettisti.

4 DIMMER Project

4.1 Cos'è il progetto DIMMER

DIMMER (District Information Modeling and Management for Energy Reduction) è un progetto di ricerca finanziato dall'Unione Europea, iniziato l'1 Settembre 2013 con una durata di tre anni. DIMMER è un progetto STREP (Small or medium scale focused research project), incentrato sull'obiettivo "*Optimizing Energy Systems in Smart Cities*", in particolare il progetto, rappresenta la prosecuzione del progetto SEEMPubS (Smart Energy Efficient Middleware for Public Spaces). Si concentra sull'integrazione di BIM e DIM (Building/District Information Modelling) con i dati in tempo reale provenienti da sensori e/o dagli stessi utenti.

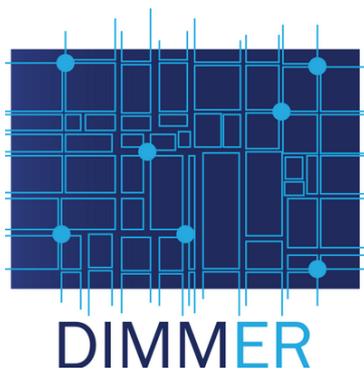


Fig. 1: Logo DIMMER project.

L'obiettivo è quello di creare correlazioni tra energia consumata ed effettiva utilizzazione degli edifici, fornendo anche un feedback in tempo reale agli operatori e agli utenti finali, al fine di ottimizzare i processi o modificare le abitudini comportamentali degli stessi utenti.

DIMMER fornirà tutte le informazioni relative all'energia ed applicazioni per implementare funzionalità di cost-analysis, pianificazione e valutazione delle tariffe, individuazione guasti, manutenzione e condivisione fra i vari utenti delle informazioni.

Il risultato atteso è una notevole riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂ attraverso l'introduzione di politiche di distribuzione energetica maggiormente efficienti, sulla base:

- delle effettive caratteristiche degli edifici e dei comportamenti degli utenti;
- di una maggiore efficienza nell'uso e nella manutenzione della rete di distribuzione energetica dei comportamenti sociali, delle abitudini e dell'utilizzo da parte degli utenti.

Al fine di validare il metodo innovativo proposto da DIMMER, successivamente saranno presi in considerazione sia edifici pubblici che privati siti all'interno di un cosiddetto distretto territoriale.

In particolare, il progetto DIMMER prevede la realizzazione di una piattaforma web open con funzionalità di elaborazione in tempo reale dei dati a livello di distretto, con una visualizzazione e il monitoraggio dei consumi energetici e della produzione di energia da fonti rinnovabili.

Il gruppo DIMMER, guidato dal Politecnico di Torino, comprende:

- Università di Manchester (UK);
- Oldham Metropolitan Borough Council (UK)
- Comprende delle aziende industriali:
 - o IREN Energia SpA (IT);
 - o D'Appolonia (IT);
 - o ARUP (UK);
 - o PMI (UK);
 - o Clicks and Links (UK);
 - o CNet Svenska Ab (SW);
 - o ST Polito (IT);
- Organismi di ricerca:
 - o Fraunhofer Institute of Technology (GE);
 - o CSI (IT);

District Information Modelling and Management for Energy Reduction

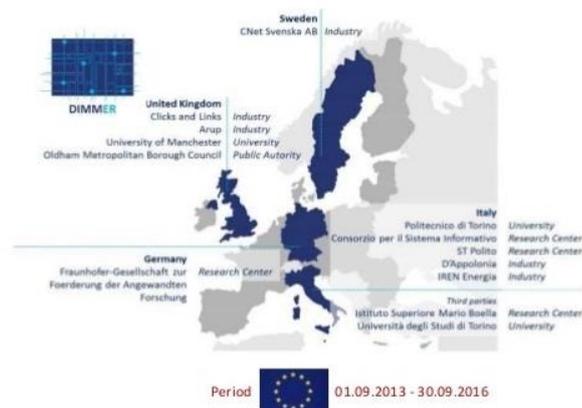


Fig. 2: Partners del DIMMER project. [1]

4.2 Obiettivi del progetto DIMMER

Il progetto DIMMER ha come scopi:

- integrare il modello BIM (Building Information Modeling) con i dati in tempo reale e le rispettive estensioni a livello distrettuale, cioè il DIM;
- usare una connessione web per fornire una reazione sull'analisi energetica degli atteggiamenti degli utenti;
- verificare l'interoperabilità di consumo e produzione energetico a livello distrettuale;
- creare un nuovo modello di commercio per gli operatori e consumatori che sfruttano i profili energetici degli utenti.

DIMMER si focalizza sulla reciprocità tra gli ICT (Information Communication Technologies) con il BIM per utilizzare al massimo le potenzialità di queste tecnologie.

Attraverso gli ICT è possibile accedere in tempo reale alle informazioni delle caratteristiche ambientali dell'edificio e dei consumi energetici.

Parlando di distretto si può avere la possibilità di accedere a delle informazioni molto precise, come ad esempio l'impianto di riscaldamento o l'impianto elettrico.

Per sistema middleware si intende un insieme di programmi informatici che funzionano da intermediari tra diversi software affinché queste informazioni possano essere messe insieme in un sistema centralizzato.

Per sfruttare al massimo le possibilità di queste tecnologie, il progetto DIMMER si sviluppa su:

- Middleware: interconnessione fra diverse tipologie di dati: BIM (Building Information Model), SIM (System Information Model) e dal GIS (sistema di informazione geografica);
- Modeling: BIM (Building Information Model) attraverso i dati in tempo reale e le rispettive estensioni a livello distrettuale (DIM);
- Awareness: sistema di visualizzazione di tutte le informazioni energetiche in tempo reale sul sistema edilizio e distrettuale, usando anche la realtà virtuale e aumentata;
- Interoperability: ottimizzazione delle informazioni scambiate con le piattaforme ICT e DBs.

L'idea principale del progetto DIMMER è l'integrazione tra BIM ed i modelli 3D a livello distrettuale con i dati in tempo reale che arrivano dai sensori per analizzare e connettere l'utilizzazione degli edifici e fare un feedback sui modi di agire legati all'energia.

Questo sistema permette di avere l'accesso libero, attraverso dei dispositivi personali, dati relativi all'analisi dei costi e dell'energia, impostazione e trasformazione delle tariffe, l'accertamento dei guasti e la rispettiva manutenzione e condivisione dei dati energetici.

I risultati previsti saranno una massiccia riduzione sia dei consumi energetici sia delle emissioni di CO₂, tutto grazie ad una maggiore efficacia riguardo l'uso e impiego della rete di ripartizione energetica collocata sulla capacità e sulle proposte degli utenti.

4.3 Casi studio DIMMER

Nella validazione del progetto DIMMER sono stati scelti e analizzati due distretti urbani di due città europee, Manchester (UK) nel nord Europa e Torino (IT). Questi due distretti hanno delle proprietà molto diverse fra loro, sia per quanto riguarda la posizione geografica (condizioni climatiche) sia per i tipi di materiali utilizzati nella fase di costruzione degli stessi edifici e per gli stessi utenti.

Il distretto di Manchester analizzato è la "casa" dell'University of Manchester. Al contrario, il distretto di Torino è un distretto situato poco fuori dal centro di Torino nel quale troviamo sia edifici pubblici che privati.

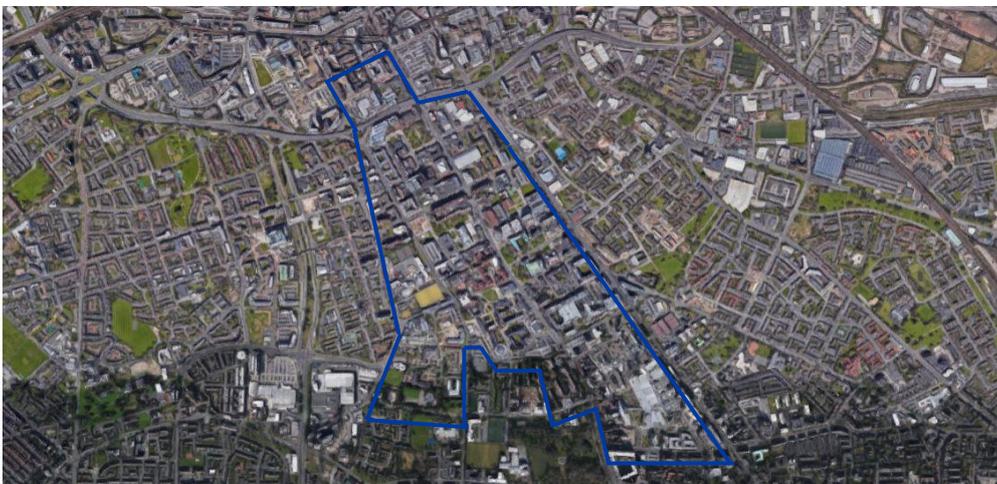


Fig. 3: District of Manchester.



Fig. 4: Distretto di Torino.

Analizzando un po' più nel particolare il distretto di Torino, i casi studio analizzati sono i seguenti:

- Università Politecnico di Torino;
- Scuola elementare Michele Coppino
- Edificio residenziale, corso Mediterraneo, 130 ←
- Edificio residenziale, via Antonio Pigafetta, 52
- Collegio universitario Renato Einaudi
- Comune di Torino, Direzione Smart city
- Scuola materna Paolo Braccini



Fig. 5: Distretti di Torino.

5 Informazioni sulla modellazione

5.1 Evoluzione della modellazione

Il disegno è stato un'arte vitale per la restituzione grafica di un manufatto o di un progetto.

L'uomo, fin dai tempi più lontani, da quando ha iniziato a "rappresentare" oggetti e poi successivamente migliorando le proprie capacità, è riuscito alla fine di un percorso di evoluzione, a realizzare dei capolavori su carta. Proprio su carta sono nati i primi "schizzi" o bozze, l'uomo riusciva, e riesce ancora oggi, a rappresentare le proprie idee in maniera veloce e di facile lettura per un gran numero di persone, anche non professioniste.

"Sin dall'inizio della storia, architettura ed edilizia si sono basati sul disegno per rappresentare i dati necessari per il progetto e per la realizzazione di ogni tipologia di manufatto". [2]

Nell'ultimo ventennio del secolo scorso però, si è passati dalla carta al software, comunemente chiamato CAD (Computer Aided Design).

Negli anni '80 gli stessi software si sono evoluti, passando da una modellazione bidimensionale a una modellazione tridimensionale più completa, quindi linee, archi e cerchi si sono evoluti in oggetti tridimensionali solidi con delle proprietà o parametri specifici.

Questi software per la modellazione tridimensionale nel tempo si sono sviluppati in modo molto rapido, dando l'opportunità di visualizzare contemporaneamente lo stesso manufatto in 2D e in 3D.

"..., in un modellatore parametrico la forma e l'insieme delle componenti geometriche si correggono automaticamente in base ai cambiamenti del contesto. Questo concetto rappresenta l'origine dell'attuale generazione del BIM. Comprendere il concetto di oggetto parametrico è la chiave per capire che cos'è un building information model e come esso differisce dal tradizionale disegno 2D e 3D." [3]

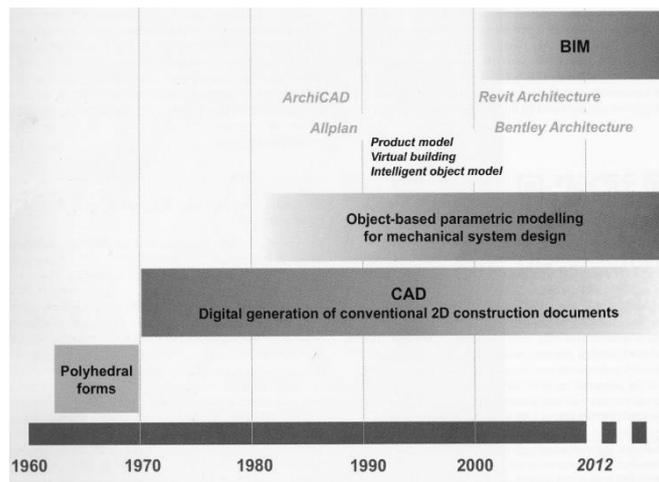


Fig. 6: Storia del BIM. [4]

Negli anni successivi sono nati molti altri programmi simili ad Autodesk Revit Architecture, detti anche parametrici, perché usano strettamente dei parametrici geometrici. La vera rivoluzione dell'introduzione di questi programmi parametrici è la volontà di attribuire agli stessi elementi dei parametri di tipo energetico, strutturale ed economico.

Questa evoluzione ha portato nei primi anni del 2000 alla nascita del BIM (Building Information Modeling) che chiarisce questa nuova metodologia di lavoro nella quale si incrociano la progettazione virtuale e la realizzazione del Facility Management (FM).

La progettazione BIM si distacca dalla progettazione tradizionale e dallo stesso CAD perché gli edifici, non sono più creati come semplici elementi bidimensionali o tridimensionali, ma con "famiglie" di elementi costituiti da muri, pilastri, solai, finestre, ecc.

Questi elementi tridimensionali infine, contengono al loro interno dei parametri principali per tutta la durata di vita dell'edificio stesso oltre ai parametri fissati dalla restituzione grafica.

Lo sviluppo di questo lavoro cambia da CAD a BIM. Il CAD si polarizza sulla crescita della rappresentazione, mentre il BIM si focalizza sullo studio dei parametri da assegnare ai singoli elementi, controllando lo sviluppo della progettazione futura.

Il modello architettonico è stato eseguito tramite modellazione parametrica utilizzando il software Autodesk Revit Architecture 2016, perché vi è un'interoperabilità fra vari software di simulazione energetica come DesignBuilder ed Energy Plus.

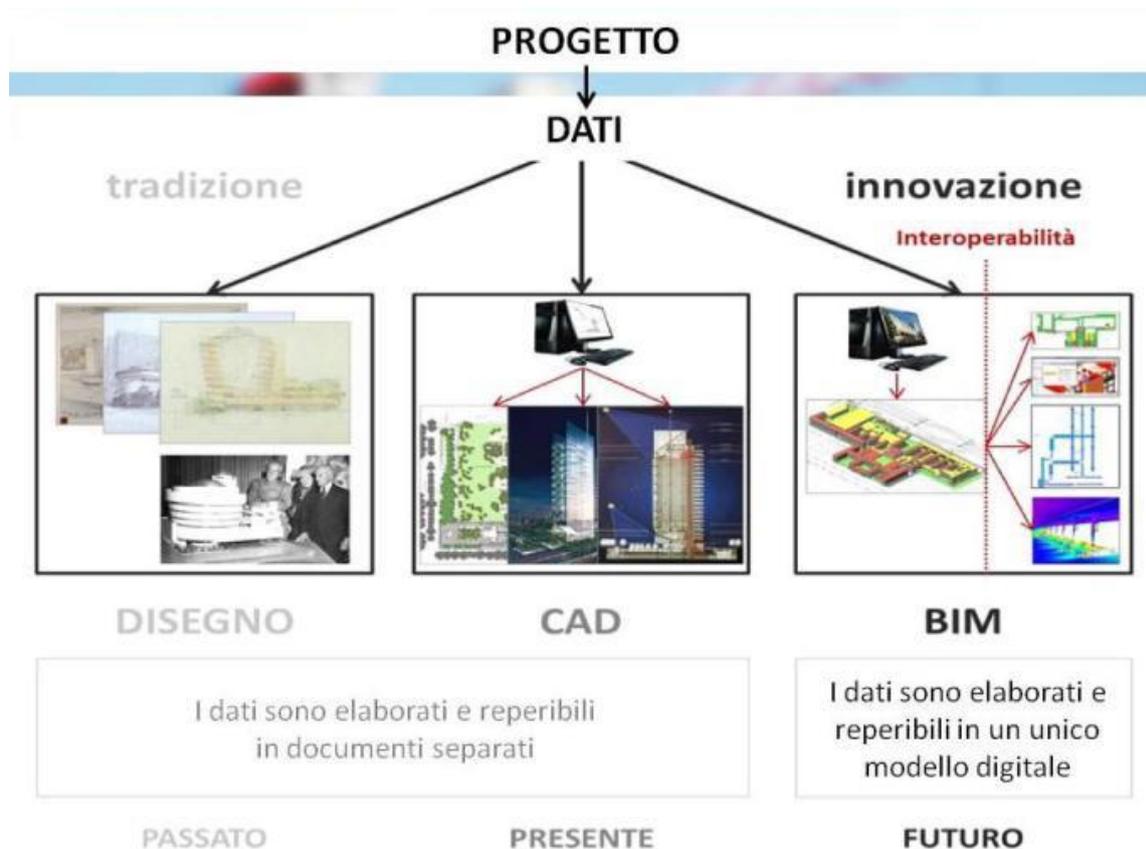


Fig. 7: Sviluppo della rappresentazione. [5]

5.2 BIM

Il Building Information Modeling è una riproduzione digitale delle proprietà fisiche e funzionali di un edificio.

L'espressione BIM fu adottata per la prima volta negli anni 2000 grazie a Jerry Laiserin, un analista che aiuta le imprese edili ed i progettisti, dandogli una mano nel creare nuove tecnologie che possano incrementare la collaborazione fra le varie figure di un progetto.

BIM indica un metodo per l'ottimizzazione della progettazione, realizzazione e controllo delle costruzioni grazie all'aiuto di software.

Il termine BIM non può essere inteso simile al Building Product model, dove il termine "Product model" nell'ingegneria rappresenta un modello di dati oppure un modello di informazioni. Inoltre, ha una doppia importanza, quella legata al tipo della metodologia e quella legata al tipo di sperimentazione. Tramite esso, tutti i dati rilevanti di una costruzione possono essere raccolti, combinati e collegati digitalmente. La costruzione virtuale è visualizzabile inoltre come un modello geometrico tridimensionale.

Queste raffigurazioni sono rappresentate da elementi tridimensionali digitali, che coincidono per intero ai rispettivi oggetti reali. Il Building Information Modeling viene utilizzato sia nel settore edile per la progettazione e costruzione (architettura, ingegneria, impianti tecnici) sia nel facility management.

"...il computer consente lo scambio di insiemi di dati con maggiore intelligenza rispetto a semplici linee, archi o cerchi. Ovviamente questa opportunità sta cambiando la comunicazione dei dati stessi: con il CAD 2D, due linee parallele e un retino al loro interno significano un muro solo se una persona conosce le regole e le convenzioni del disegno; invece, con il BIM, un muro è un muro." [6]

Negli ultimi anni, anche la politica parla di BIM, cioè emanando delle direttive e norme per imporre ai progettisti, durante la fase di realizzazione e realizzazione di un'opera, l'uso del BIM. La direttiva 2014/24/EU ha raccomandato agli stati membri dell'unione europea l'uso di software BIM, ma non ha specificato però quali programmi usare. In Italia è stata emanata la norma UNI 11337-1 del 2017 col titolo "Edilizia e opere di ingegneria civile-Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni-Parte 1: Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi".

"..., il futuro della progettazione e dell'industria delle costruzioni sta per essere fortemente influenzato dall'utilizzo della tecnologia. Grazie al BIM sarà possibile condurre tale industria nella direzione di un processo basato sul modello digitale 3D, allontanandola gradualmente da un processo tipicamente basato sul disegno 2D cartaceo." [7]

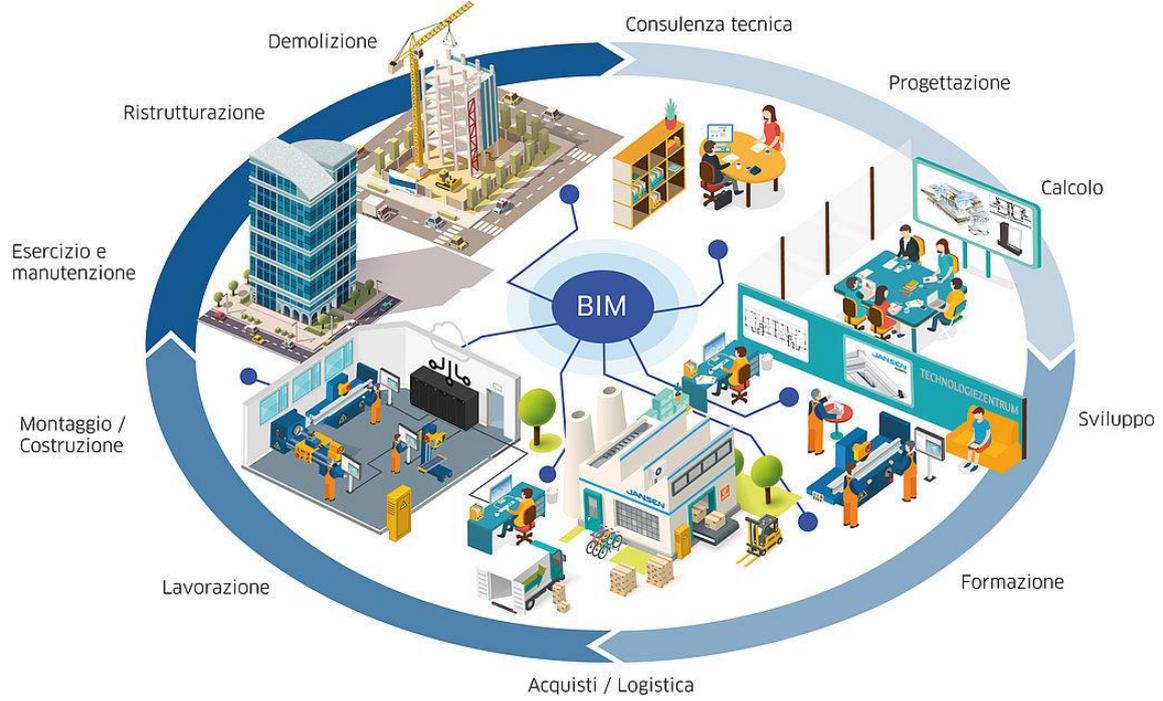


Fig. 8: Sistema BIM.

5.3 Interoperabilità DIMMER

Quando si parla di "interoperabilità" si intende la possibilità di scambiare dati e contenuti di un modello progettuale tra diverse piattaforme software e applicativi destinati alle diverse funzionalità coinvolte nelle attività, questo non solo durante la fase di realizzazione dell'opera ma anche nell'intero suo ciclo di vita, dalla manutenzione alla dismissione.

Durante lo scambio di dati ed informazioni in tempo reale fra le varie figure, si ha una riduzione degli errori, i tempi della progettazione e di studio.

Tradizionalmente, i software specializzati sviluppati per la gestione ed elaborazione dei dati all'interno di specifici settori, quale quello dell'ingegneria e costruzione, avevano una mancanza della capacità di integrarsi reciprocamente (fra i vari software e figure professionali), mentre l'approccio al BIM richiede necessariamente la massima accessibilità di tali informazioni di progetto e di processo a tutti i soggetti coinvolti.

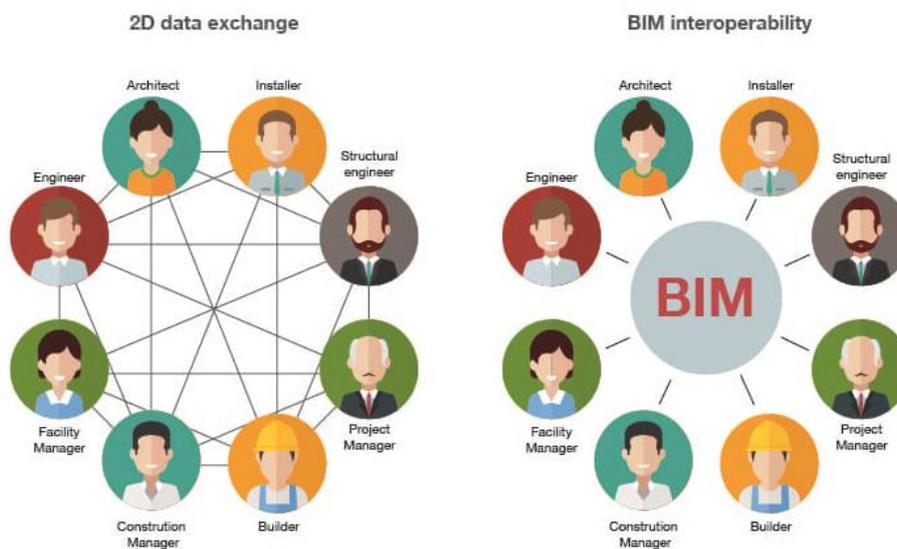


Fig. 9: Interoperabilità fra professionisti.

5.4 EAM

Una delle potenzialità della metodologia BIM usata negli ultimi anni è quella energetica. I professionisti e i committenti si sono concentrati sulla sostenibilità dei progetti. Proprio per questo il BIM fornisce agli utenti la possibilità di esaminare diverse ipotesi di risparmio energetico in fase di modellazione.

Ci sono molti programmi per le simulazioni energetiche utilizzabili dalle importazioni ed esportazioni da programmi di modellazione architettonica. I formati maggiormente utilizzati e conosciuti sono gbXML.



Fig. 10: Logo file gbXML.

Prima di procedere con l'esportazione è necessario semplificare il modello. Dato che tutti gli elementi inseriti nel modello architettonico non sono funzionali con la simulazione energetica. Il modello che otteniamo dalla semplificazione viene definito come BEM (Building Energy Model).

5.5 DesignBuilder

DesignBuilder fornisce strumenti di modellazione avanzati, in questo modo i progettisti utilizzano lo stesso software per sviluppare progetti di edifici confortevoli e a basso consumo energetico, dall'idea dell'edificio fino al suo stesso completamento.

Questo software è stato concepito per facilitare al massimo il processo di modellazione e di inserimento dei dati. La fase più avanzata di DesignBuilder è EnergyPlus. Esso fornisce l'accesso a tutte le funzionalità di simulazione più comunemente richiesti e coprono tutto il tessuto edilizio, massa termica, vetri, ombreggiatura, le energie rinnovabili, HVAC e analisi finanziaria.

Le caratteristiche principali di simulazione di EnergyPlus sono:

- a. EnergyPlus è strettamente integrato a DesignBuilder fornendo simulazione termica dinamica avanzata a Timesteps suboraria;
- b. Fornire dati sulle prestazioni ambientali quali il consumo di energia, le emissioni di carbonio, al confort delle camere a mensili, intervalli annuali, ogni giorno, ogni ora e sub-oraria;
- c. Segnalare guadagni solari su superfici, temperature superficiali e scambi radianti;
- d. Accedere ad una vasta gamma di risultati per edifici e sistemi;
- e. Valutare le prestazioni passiva, massa termica, e la distribuzione della temperatura;
- f. Temperature superficiali di esportazione e tassi di flusso d'aria come condizioni al contorno per l'analisi dettagliata CFD;
- g. Predimensionamento dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento.

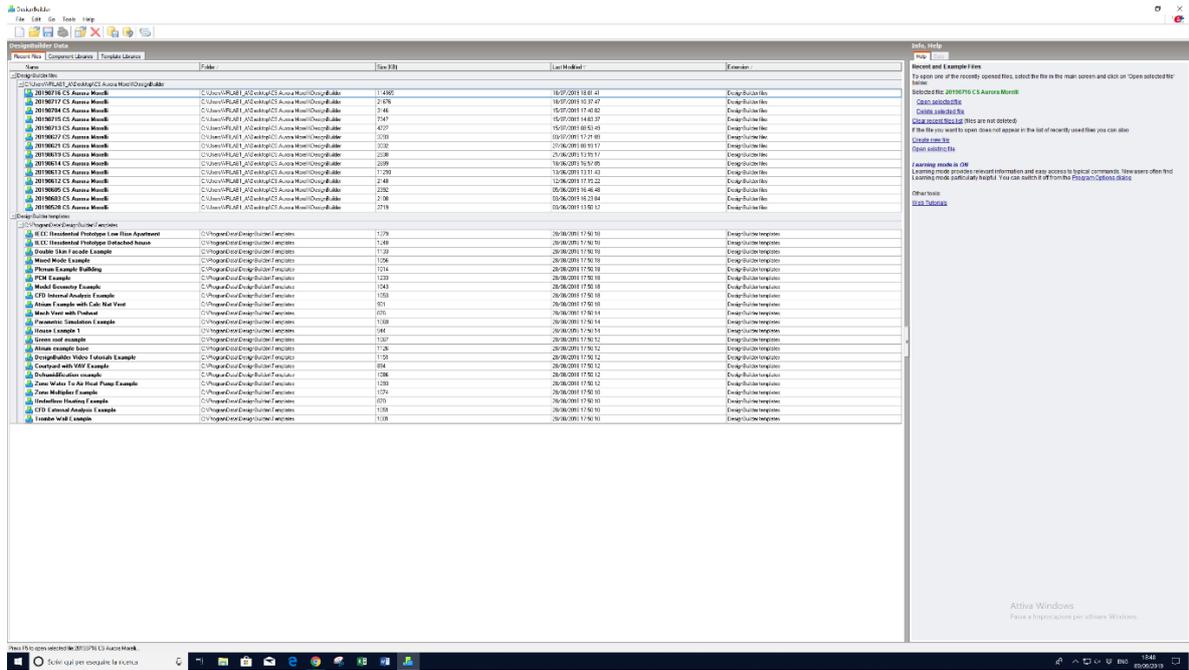


Fig. 11: Interfaccia software DesignBuilder.

5.6 EnergyPlus

Sempre più spesso si sente parlare di “simulazione dinamica” per la progettazione energetica avanzata. EnergyPlus è un software di simulazione energetica gratuito creato dal “Dipartimento per l’efficienza energetica e l’energia rinnovabile” del Governo degli Stati Uniti. Il software può essere utilizzato per stimare carichi energetici di riscaldamento, raffrescamento, illuminazione e ventilazione sulla base di simulazioni orarie o sub-orarie definite dall’utente.



Fig. 12: Logo EnergyPlus.

L'analisi di sensibilità di un modello EnergyPlus identifica come l'incertezza di un output può essere allocata all'incertezza nei parametri di input di un modello di processo. L'analisi di sensibilità è utile per identificare quali parametri richiedono maggiore attenzione durante la progettazione del modello e quali parametri di input influenzano maggiormente i risultati della simulazione. L'influenza dei materiali di costruzione e il numero di persone, la cosiddetta occupazione, sulla temperatura della stanza e la temperatura di ventilazione dell'aria in entrata di una casa possono essere ottenute mediante analisi di sensibilità. L'esecuzione di un'analisi della sensibilità grezza che mostra l'impatto dell'incertezza rispetto alle variazioni dei valori individuali per questi parametri identifica i contributi individuali più significativi alla variabilità dei risultati.

Nonostante tutto EnergyPlus sia un software gratuito e open source ha, però, delle criticità dovute ad un'interfaccia non proprio facile da utilizzare o gestire. I file di Input e output dell'edificio vengono gestiti attraverso delle tabelle di dati e formule matematiche che non hanno automatismi o elementi grafici semplificativi. Per trovare un rimedio a questo problema esistono delle interfacce grafiche

esterne che facilitano la creazione del modello termico dell'edificio e l'inserimento delle proprie caratteristiche.

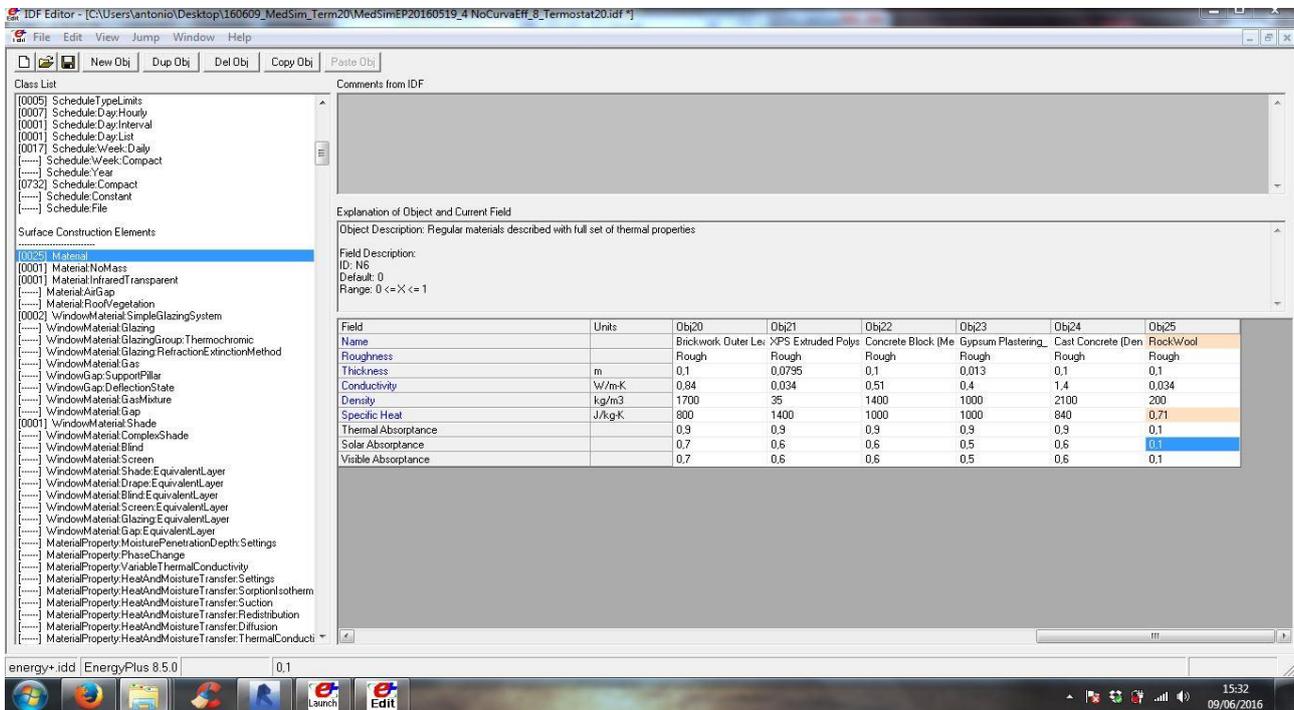


Fig. 13: Interfaccia software EnergyPlus.

Pertanto, dato che non è facile capire se su EnergyPlus vi siano degli errori al modello per via dell'interfaccia poco chiara, si è passati da DesignBuilder, il quale ha un'interfaccia più chiara in cui è più facile visualizzare gli errori ed impostare i dati di input per le diverse attività, costruzione e di impianto.

Per visualizzare dei risultati è stato usato il software Results Viewer. Questo programma ha la proprietà di leggere i formati file *eso* e *htm*, di conseguenza anche il file di output di EnergyPlus. Esso consente a qualsiasi dato generato da EnergyPlus di essere visualizzato insieme ai dati precedentemente generati.

6 Metodo di lavoro

6.1 Archivio storico

Attraverso una ricerca storica del quartiere Crocetta (quartiere dove è ubicato l'edificio analizzato nella presente tesi) si è analizzato e visto come questo quartiere si sia evoluto nel tempo.

Partendo dagli ultimi anni del diciannovesimo secolo, attraverso le mappe storiche dell'archivio storico della città di Torino, si può vedere come in questa zona della città non vi sia nessun edificio edificato.



Fig. 14: Mappa di Torino nel 1878. [8]

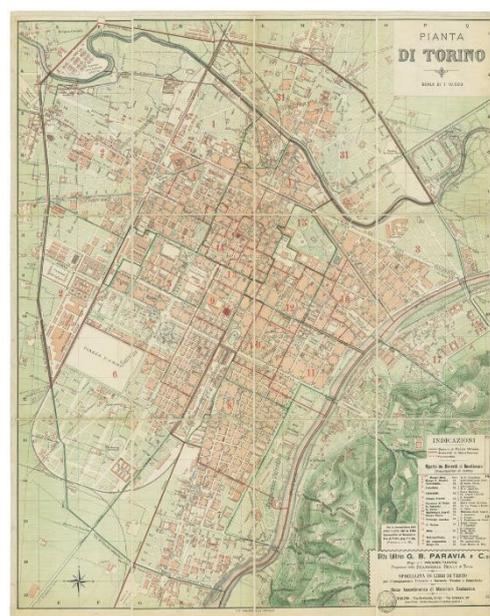


Fig. 15: Pianta di Torino nel 1896. [9]

Solo nel 1896 si inizia ad intravedere l'impronta di isolati nella zona sud di piazza d'armi. Ma per vedere le prime edificazioni in questa zona bisogna attendere il secondo decennio del ventesimo secolo. Le prime costruzioni nascono più o meno verso il 1911. Ma solo nel 1915, a ridosso dello scoppio della Prima Guerra Mondiale, si realizzano tutti gli isolati del quartiere grazie all'applicazione, nei precedenti vent'anni di due piani regolatori.

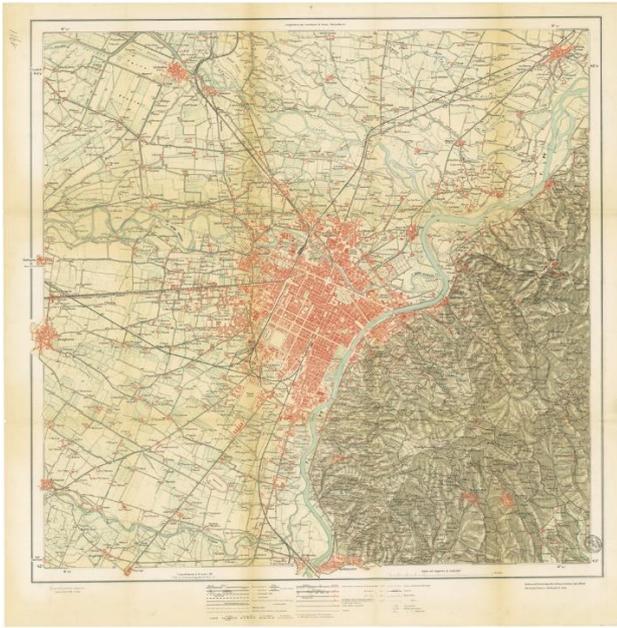


Fig. 16: Pianta di Torino e dintorni nel 1911. [10]

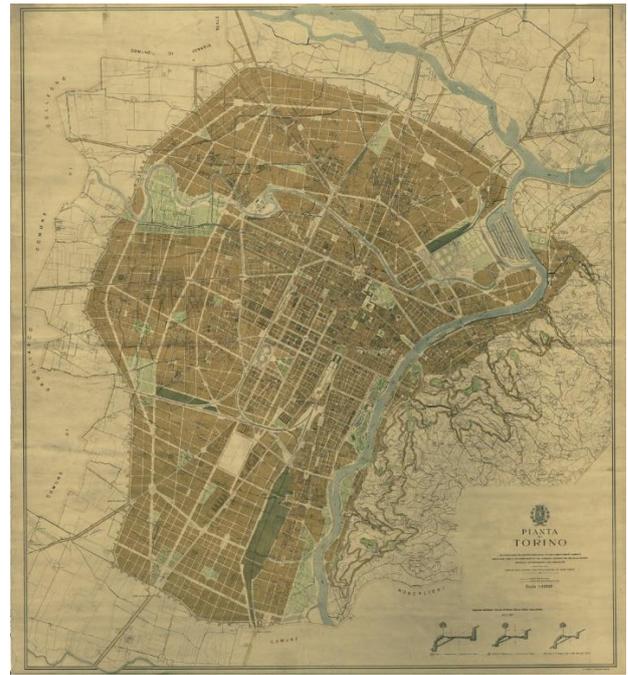


Fig. 17: Mappa di Torino nel 1915. [11]

Tra la Prima e la Seconda Guerra Mondiale il quartiere ha subito pochi cambiamenti. Purtroppo durante la Seconda Guerra Mondiale, il quartiere crocetta, insieme alla stessa città di Torino ed il resto dell'Italia ha subito una serie di bombardamenti che hanno distrutto, in modo parziale o in modo totale, diversi edifici residenziale, pubblici e storici.

Infatti, all'interno dell'archivio storico di Torino sono presenti delle tavole della città di Torino sulle zone colpite dai bombardamenti.

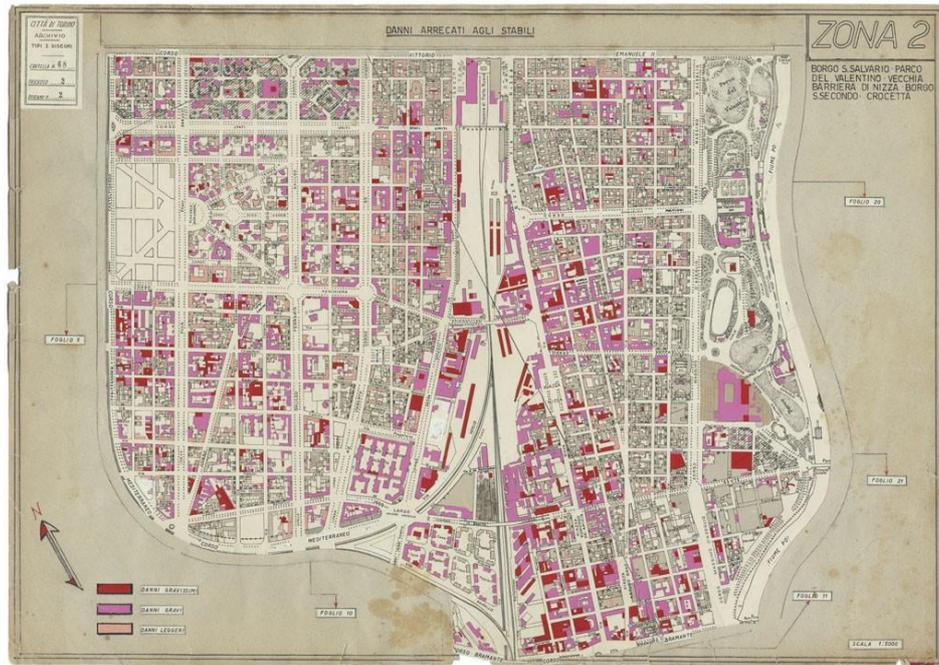


Fig. 18: Mappa del quartiere Crocetta dopo i bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale. [12]

Come si può vedere dalla precedente figura, nella stessa ubicazione odierna dell'edificio, vi è la presenza di un edificio ma non sappiamo che tipo di edificio ci fosse. Dall'altro, l'edificio risulta essere stato bombardato ed aver subito dei gravi danni ma allo stesso tempo non vi sono ulteriori fonti che certifichino che l'edificio sia lo stesso trattato nella presente tesi.

6.2 Archivio edilizio

L'edificio analizzato è un edificio residenziale sito in Torino, in corso Mediterraneo 130. È stato realizzato tra il 1961 ed il 1970 da parte del dott. Arch. Buffa Luigi per conto della famiglia Pelassa. Reperire tutte le informazioni relative all'edificio è la fase più importante prima di immettersi nella modellazione 3D. La reperibilità di tali informazioni è iniziata attraverso un'analisi storica, tramite archivio edilizio, nel quale è stato possibile trovare planimetrie, elaborati grafici e relazioni di calcolo ed eventuali successive.

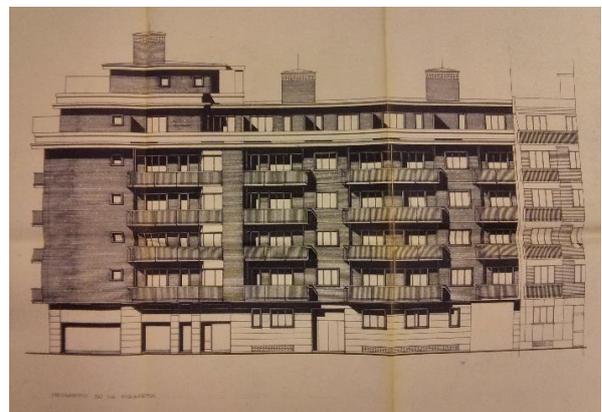
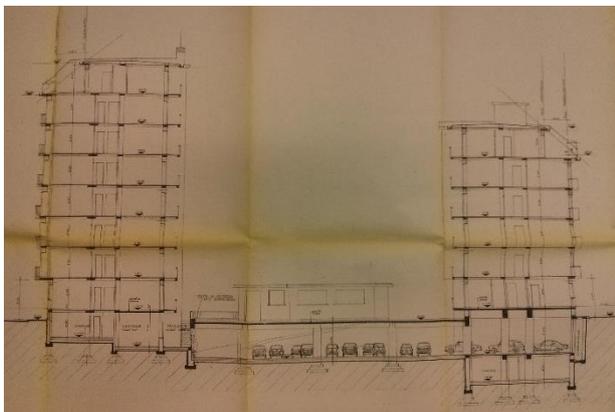
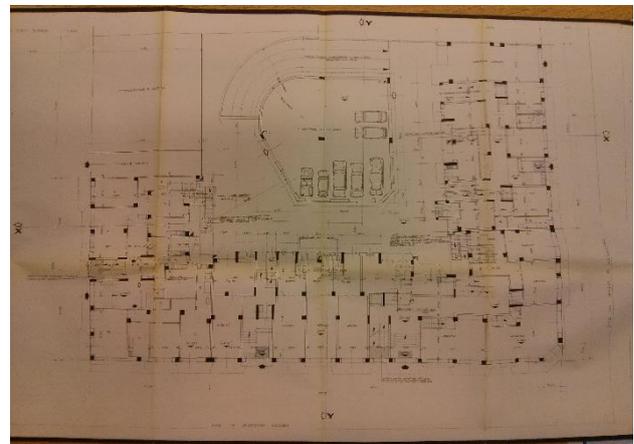


Fig. 19: Documentazione nell'Archivio Edilizio di Torino. [13]

avere una facilità di calcolo si decise di considerare uno spessore per entrambe le tipologie. Per i muri esterni si usò una larghezza di muro di 55 cm e per la tramezzatura interna uno spessore di 15 cm.

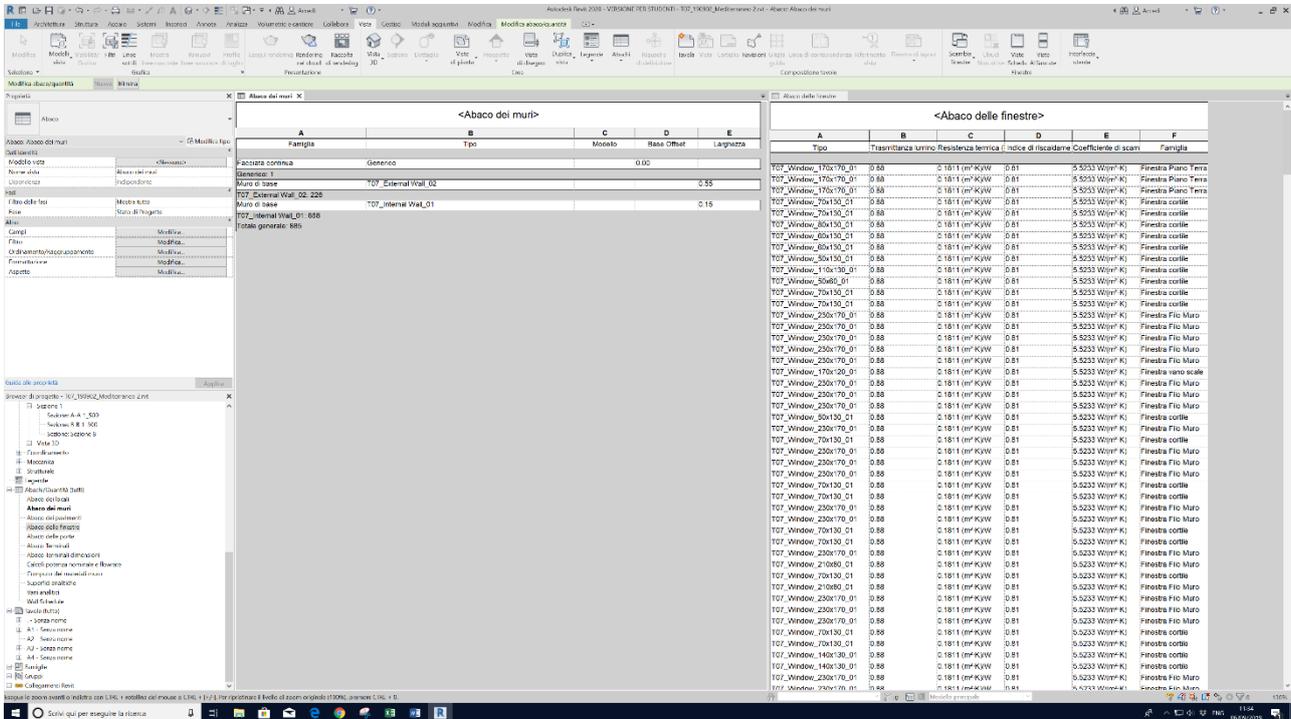


Fig. 21: Stralci di abachi dopo la semplificazione.

Come si può notare dall'ultima figura, vi è una riduzione drastica della tipologia di muri presenti all'interno del modello ai fini di facilitare il calcolo energetico. Inoltre, si può vedere che la codifica delle varie famiglie è cambiata, facendo in modo che sia uniforme e definita allo stesso tempo, per tutti i casi studio all'interno del progetto DIMMER.

Partendo dai livelli ed i locali, tutti gli elementi ed i materiali architettonici sono stati rinominati secondo la nuova codifica DIMMER, quindi sono stati codificati come di seguito:

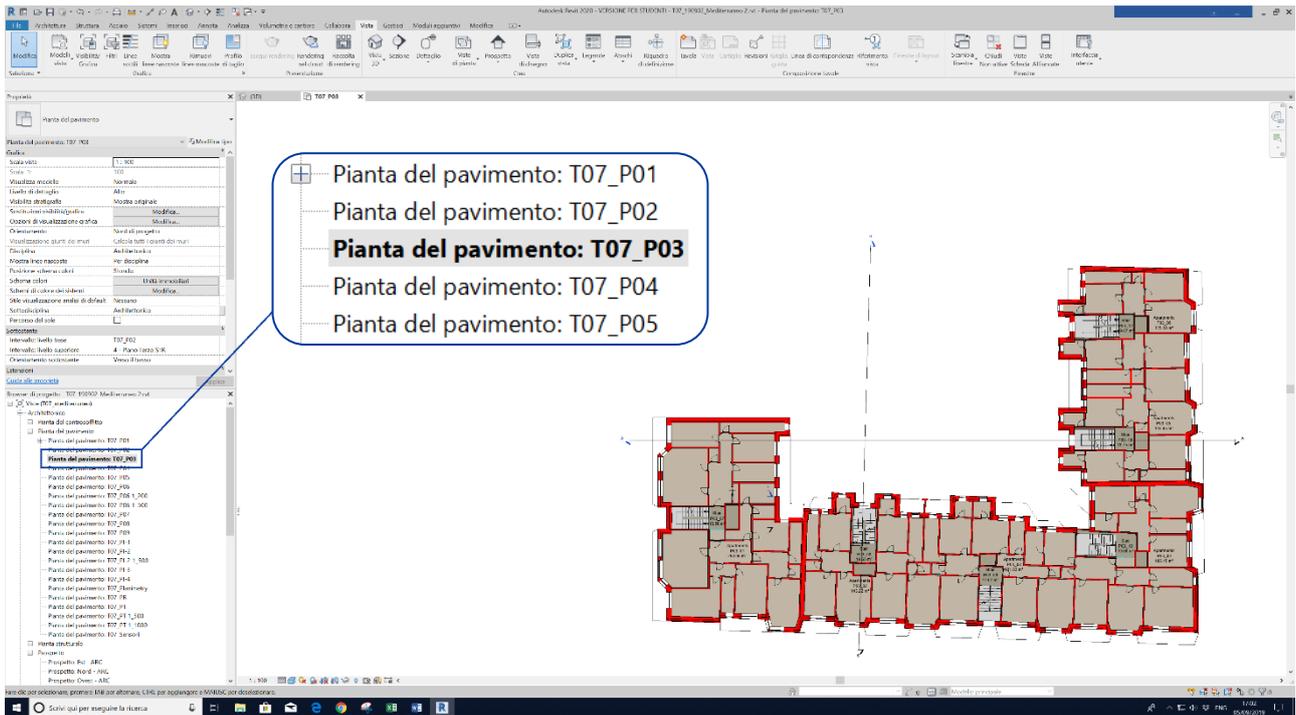


Fig. 22: Esempio di codifica dei livelli o pianta dei pavimenti.

T07_P03

dove:

- **T**: indica il distretto in cui è ubicato il caso studio, dove (T) Torino e (M) Manchester;
- **07**: indica il numero del caso studio all'interno del distretto;
- **P**: indica il piano;
- **xx**: indica il numero del piano corrispondente.

Può fare eccezione:

PT: codice relativo al piano terreno.

Proseguendo nel particolare, è stata realizzata una codifica per una strategia costruttiva per esempio muro, pavimento o tetto. Quindi si ottiene la seguente codifica:

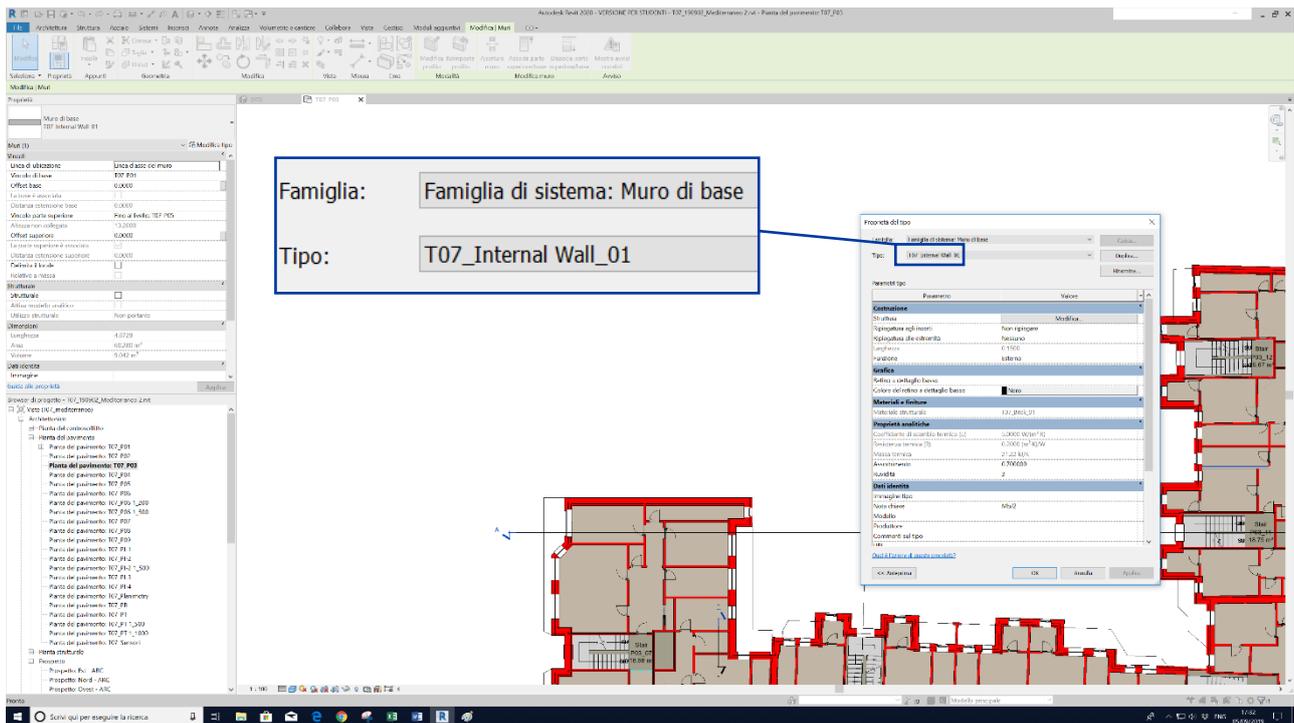


Fig. 23: Esempio di codifica di un elemento costruttivo tipo, muro in questo caso.

T07_Internal Wall_03

dove:

- **T**: indica la città del caso studio (T) Torino e (M) Manchester;
- **xx**: numero del caso studio;
- **name**: nome della strategia costruttiva che si sta considerando, per esempio Internal Wall, External Wall, Roof, Floor, ecc.
- **yy**: numero dello scenario, nello stato di fatto si avrà 01.

Il modello architettonico presentava degli elementi costruttivi privi di proprietà o che facevano parte delle famiglie di sistema di Revit.

Ultimata la pulizia del modello architettonico si possono inserire le informazioni relativi ai parametri tecnologici del modello, come le stratigrafie dei vari elementi, a definire dati fisici e termici dei materiali utilizzati.

I materiali utilizzati mantengono la stessa nomenclatura di partenza:

Txx_name of materials_yy

dove:

- **T**: indica la città del caso studio (T) Torino e (M) Manchester;
- **xx**: numero del caso studio;
- **name of materials**: nome del materiale che si sta considerando, per esempio Plaster, Insulation, Brick Ext, ecc.
- **yy**: numero dello scenario, nello stato di fatto si avrà 01.

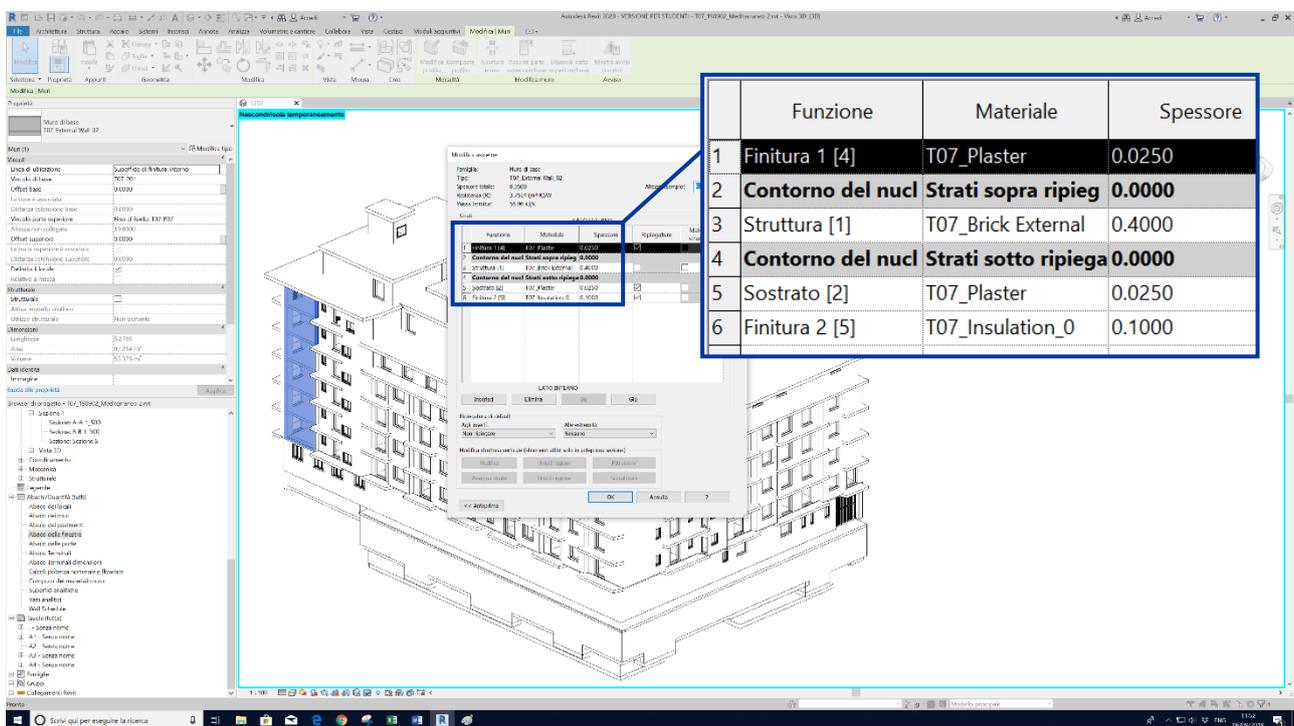


Fig. 24: Esempio di codifica dei materiali del modello.

Il processo di rinomina degli elementi è servito per avere una standardizzazione dei modelli parametrici, così da creare una codifica ed una libreria degli elementi costruttivi, che venisse letta da tutti i software utilizzati nell'intero processo e per la successiva unione dei singoli modelli BIM studiati a livello distrettuale DIM.

Ogni componente del modello è stato adattato alla nomenclatura unificata del progetto DIMMER. Di conseguenza avremo i componenti in questo modo:

Prima della modifica del modello

- Muro Esterno $U=0,5 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - Laterizio
 - Laterizio
 - Aria
 - Laterizio
 - Intonaco Bianco
- Pavimento Controtterra $U=0,5 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - Ceramica Bianca
 - Sabbia e Calcestruzzo
 - Laterizio
 - Aria
 - Laterizio
 - Sabbia e Calcestruzzo
- Pavimento interno $U=26,15 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - Ceramica Bianca
 - Sabbia e Calcestruzzo
 - Calcestruzzo
 - Laterizio
 - Intonaco Bianco
- Tetto $U=0,4224 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - Copertura Membrana
 - Poliestere Espanso
 - Strato resistente all'acqua
 - Calcestruzzo
 - Laterizio

Dopo la modifica del modello

- T07_External Wall $U=0,266 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - T07_Plaster_01
 - T07_Brick External_01
 - T07_Plaster_01
- T07_Basement $U=1,19 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - T07_CLS_01
 - T07_Insulation_01
 - T07_CLS_01
 - T07_Brick_01
- T07_Internal Floor $U=1,13 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - T07_CLS Floor_01
 - T07_Brick_01
- T07_Roof $U=0,3 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - T07_Aspphalt_01
 - T07_CLS Roof_01
 - T07_Insulation Roof_01
 - T07_CLS Roof_01
 - T07_Brick Roof_01

- Intonaco Bianco
- T07_Plaster_01
- Muro interno $U=[-] \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - Default Muro
- T07_Internal Wall
 - T07_Brick Internal_01
- Finestra $U=[-] \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - Nessuna
- T07_Window_01 $U=5,52 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$
 - Vetro singolo 3/8 in su telaio pesante

Le superficie trasparenti (le finestre) verranno analizzate nello specifico nella formulazione di ipotesi di scenario nel sotto paragrafo 9.2.1. In questa ipotesi verranno sostituiti gli attuali vetri singoli con dei vetri doppi per avere un miglioramento delle prestazioni. La trasmittanza delle finestre cambierà da $5,52 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$ a $1,93 \left[\frac{W}{m^2 k} \right]$.

Ultimato il modello architettonico, sono state realizzate delle masse, a cui sono stati associati dei "parametri condivisi", quali sono dei parametri che sono inseriti dall'utente e non dal sistema. Questi parametri sono stati creati per aggiungere diverse informazioni alle masse che poi saranno inserite successivamente all'interno di un contesto urbano su Revit o in software legati al GIS.

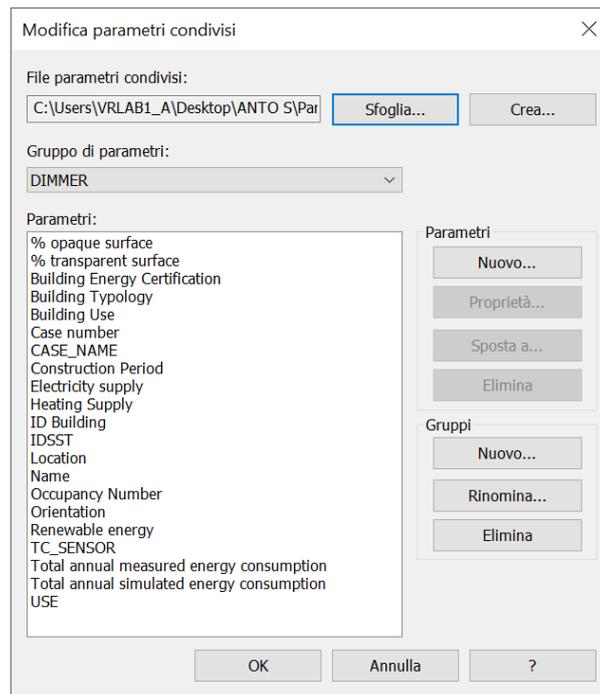


Fig. 25: Parametri condivisi.

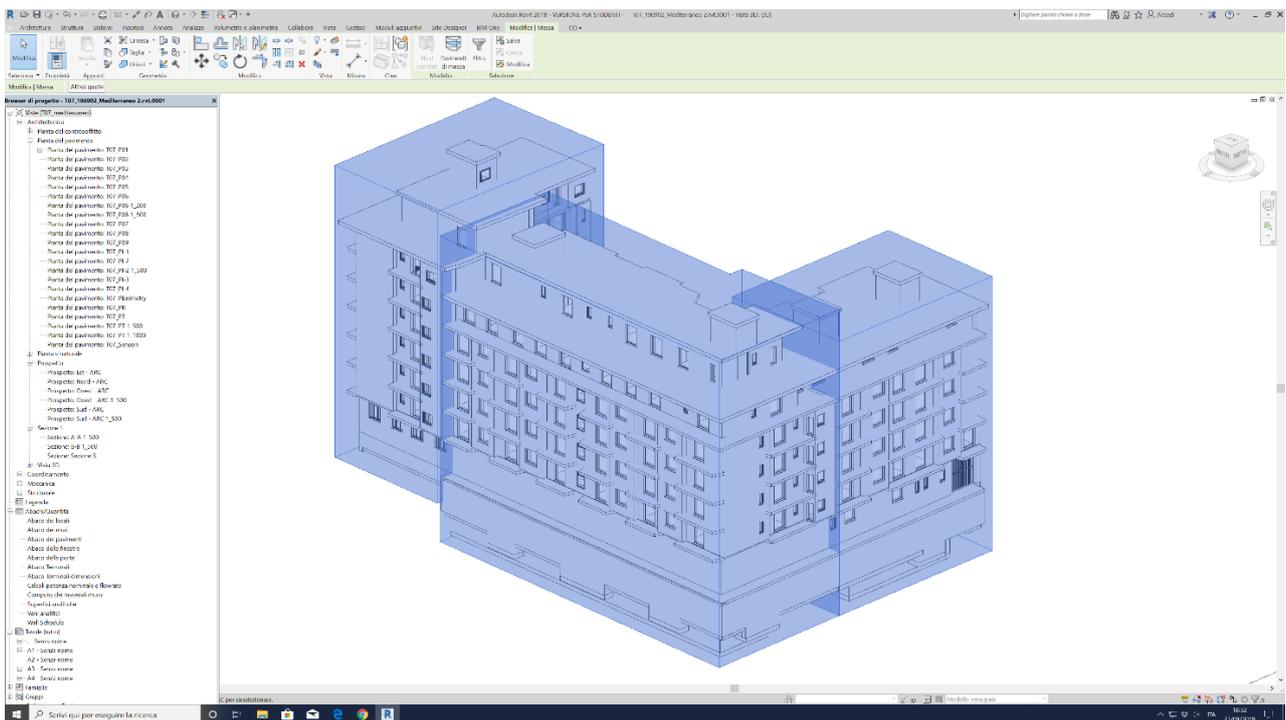


Figura 26: Modello tridimensionale con masse per i parametri condivisi.

6.3.2 EAM: Impostazione del modello energetico

Semplificato il modello BIM da quegli elementi che non sono dispensabili per l'analisi energetica (pilastri, travi, ringhiera) si andò ad impostare il modello per le simulazioni energetiche.

Il modello BEM fù analizzato su 3 steps, perché nel momento in cui si andò ad importare il modello per l'EAM il software riscontrò un errore sul numero di rooms molto grande.

- STEP 1: Il progetto iniziale prevedeva un numero sostanziale di rooms, cioè 726. In questa fase del progetto, partendo dalle piante dei pavimenti, furono realizzati i locali all'interno di ogni stanza attraverso il comando "locali" presente nella "Barra degli strumenti" nella sezione "Architettura" e nell'area locali e area:

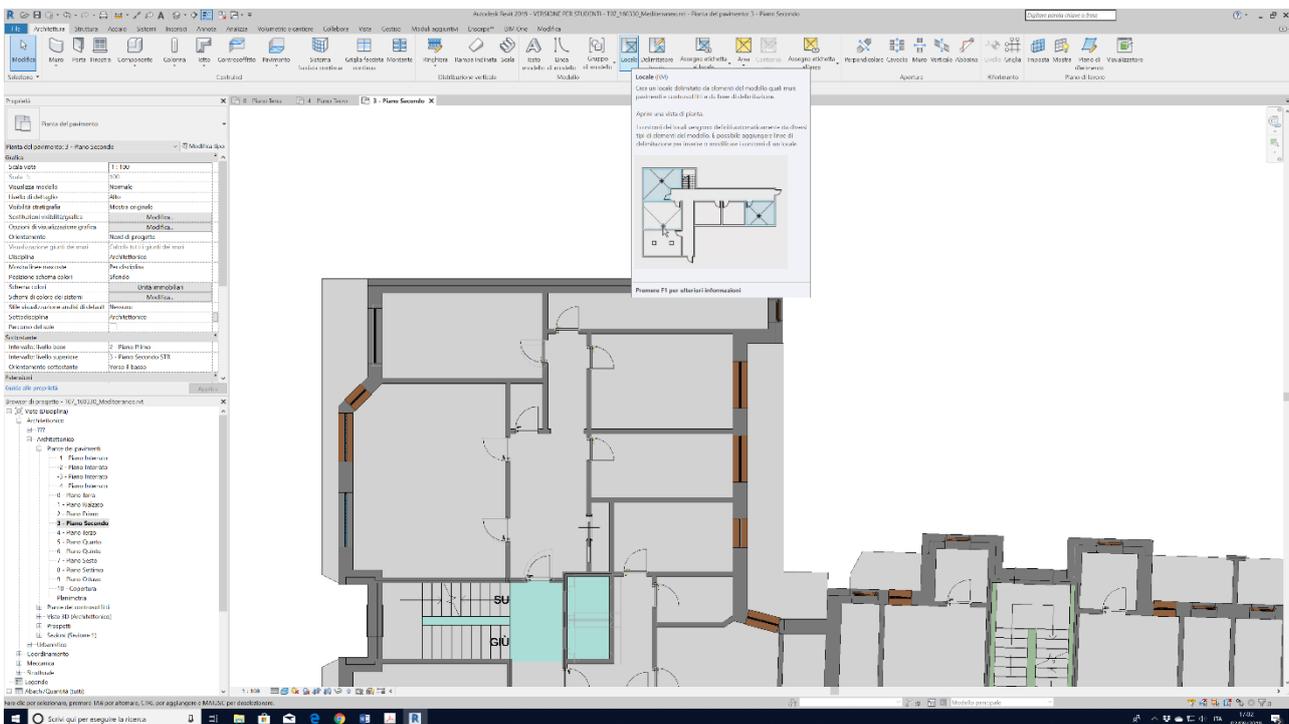


Fig. 27: Comando locali.

Nella fase di costruzione del modello di sviluppo energetico si riscontrarono dei problemi di rallentamento e crash del software, poiché il calcolo effettuato dal software parametrico non riusciva ad elaborare tutte le 726 rooms..

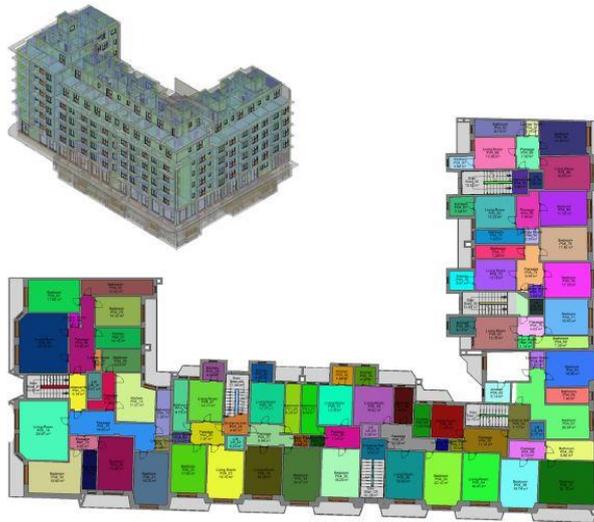


Fig. 28: Numero locali del piano tipo ed analogo modello energetico tridimensionale relativo allo step 1.

- STEP 2: Partendo dai problemi di calcolo dello step precedente, si decise di semplificare il numero delle rooms, considerando un intero appartamento come un unico locale invece di considerare un locale come room. Questa semplificazione è stata possibile attraverso il comando "delimita il locale":

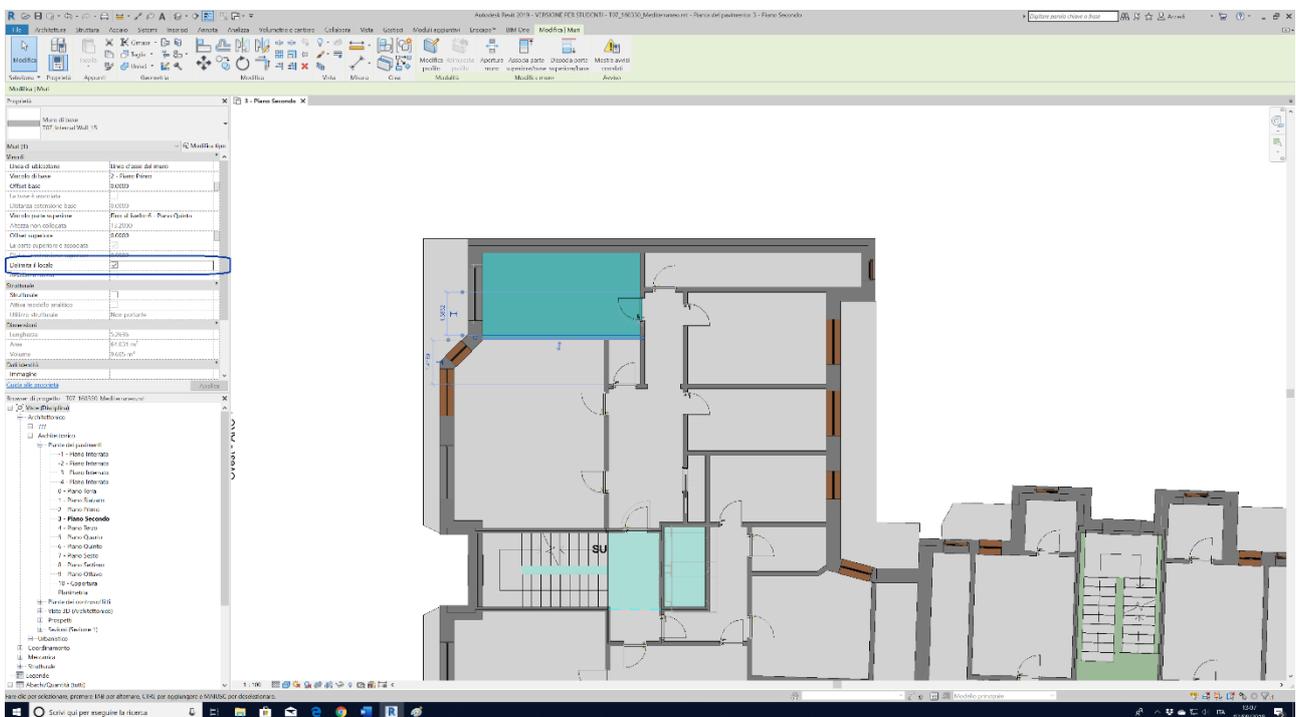


Fig. 29: Comando "delimita il locale" selezionato.

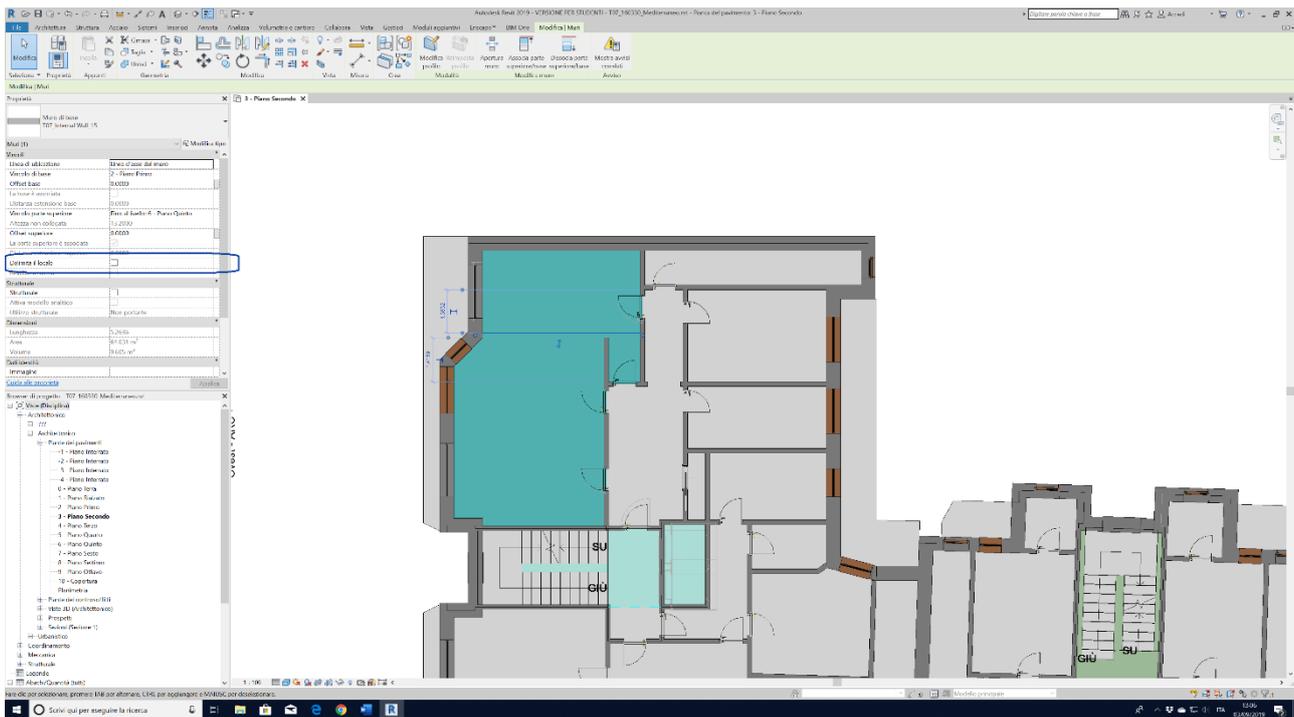


Fig. 30: Comando "delimita il locale" deselezionato.

Tale comando fa sì che selezionando un muro si può applicare la proprietà di delimitazione di un locale. Cambiata la prima proprietà a questo muro, si applica lo stesso procedimento per tutti i tramezzi presenti all'interno dell'appartamento. Di conseguenza le rooms passano da 726 a 162 rooms.



Fig. 31: Numero locali del piano tipo ed analogo modello energetico tridimensionale relativo allo step 2.

- STEP 3: Eseguendo un nuovo modello energetico si notò un miglioramento nell'elaborazione dei dati da parte del software, ma nonostante tutto i risultati non sono soddisfacenti sulle tempistiche di calcolo.

Utilizzando sempre la proprietà "delimita il locale" sul muro che divide i due appartamenti adiacenti al vano scala relativo, il locale si estenderà su entrambi gli appartamenti. Successivamente è stata eseguita un'ulteriore semplificazione dei locali. Le rooms così sono passate da 162 a 97 rooms (*Figura 29*).



Fig. 32: Numero locali del piano tipo ed analogo modello energetico tridimensionale relativo allo step 3.

Infine, utilizzando un foglio Excel, sono stati inseriti i dati delle rooms relativi ai tre steps e si è creato un grafico per capire meglio quale fosse l'andamento della semplificazione del modello BEM per il DIM.

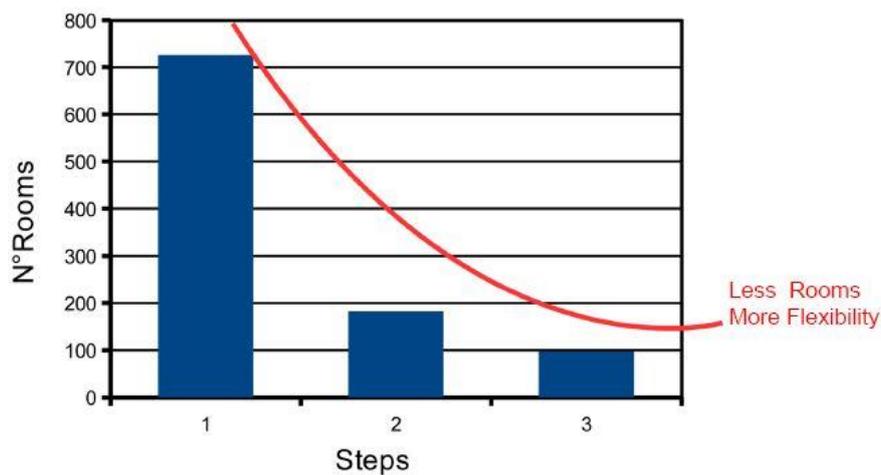


Figura 33: Grafico sviluppo della semplificazione dei locali.

Durante la fase BIM sono stati elaborati ulteriori dati, come le "superfici analitiche", le quali servono per identificare correttamente le superfici interne ed esterne associate alla costruzione dei muri.

<Superfici analitiche>			
A	B	C	D
Area	Conteggio	Tipo di apertura	Tipo di superficie
25.17 m ²	11	Aria	
930.06 m ²	431	Finestra apribile	
6.16 m ²	1	Finestra fissa	
158.22 m ²	117	Porta non scorrevole	
4346.94 m ²	499		Muro esterno
2068.28 m ²	274		Muro interno
984.36 m ²	123		Muro interrato
5514.18 m ²	523		Ombra
2894.65 m ²	40		Pavimento interno
394.82 m ²	27		Pavimento rialzato
331.38 m ²	15		Solaio di fondazione
816.20 m ²	32		Solaio interrato
434.16 m ²	26		Tetto
18904.59 m ²			

Fig. 34: Superfici analitiche.

6.3.3 EAM: esportazione modello energetico

Nella versione di Autodesk Revit Architecture 2016 è possibile effettuare delle simulazioni energetiche all'interno del programma.

Avendo un modello semplificato BEM è stato possibile lanciare le simulazioni energetiche, al termine delle quali si crea automaticamente un modello EAM (Energy Analytical Model). Tale modello è composto da vani e superfici analitiche.

Nelle impostazioni energetiche troviamo i parametri "risoluzione del vano" e "risoluzione superficie analitiche" i quali danno informazioni molto significative al modello di analisi energetica.

Attivando il modello energetico su Revit si genera un modello energetico tridimensionale formato da:

- Vani e locali analitici definiti dal modello di costruzione e dagli elementi di delimitazione del locale;
- Superfici analitiche create basandosi sui vani analitici, muri, finestre, porte, ecc.

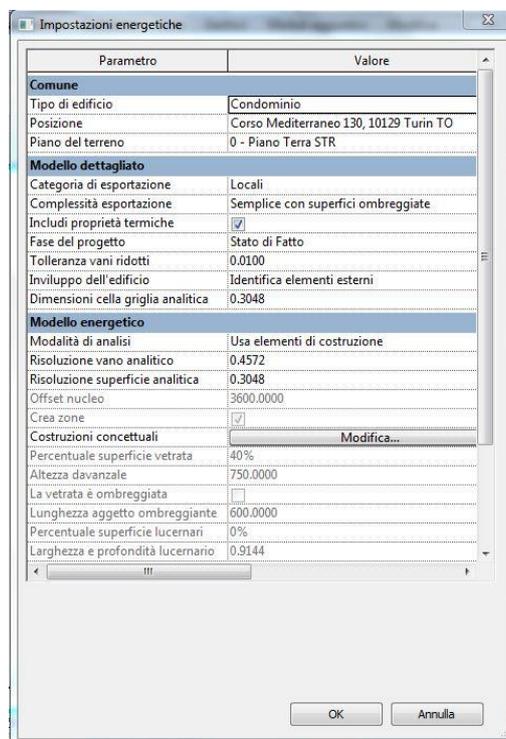


Fig. 35: Impostazioni energetiche.

6.3.3.1 Errori esportazione modello energetico

Dopo aver posizionato i componenti camera o componenti spaziali in tutte le aree in un piano, è possibile esportare il disegno come un file gbXML.

Il file gbXML contiene tutte le informazioni di riscaldamento e di raffreddamento per un progetto secondo la sua struttura. Essa è stata creata per aiutare i progettisti ad ottenere informazioni sulle caratteristiche di consumo energetico dei loro progetti di costruzione e per la realizzazione del manufatto stesso.

Durante l'esportazione del modello parametrico in formato gbXML da Revit si sono riscontrati degli errori legati ai locali. Infatti, tali errori sono segnalati nell'esempio sottostante.

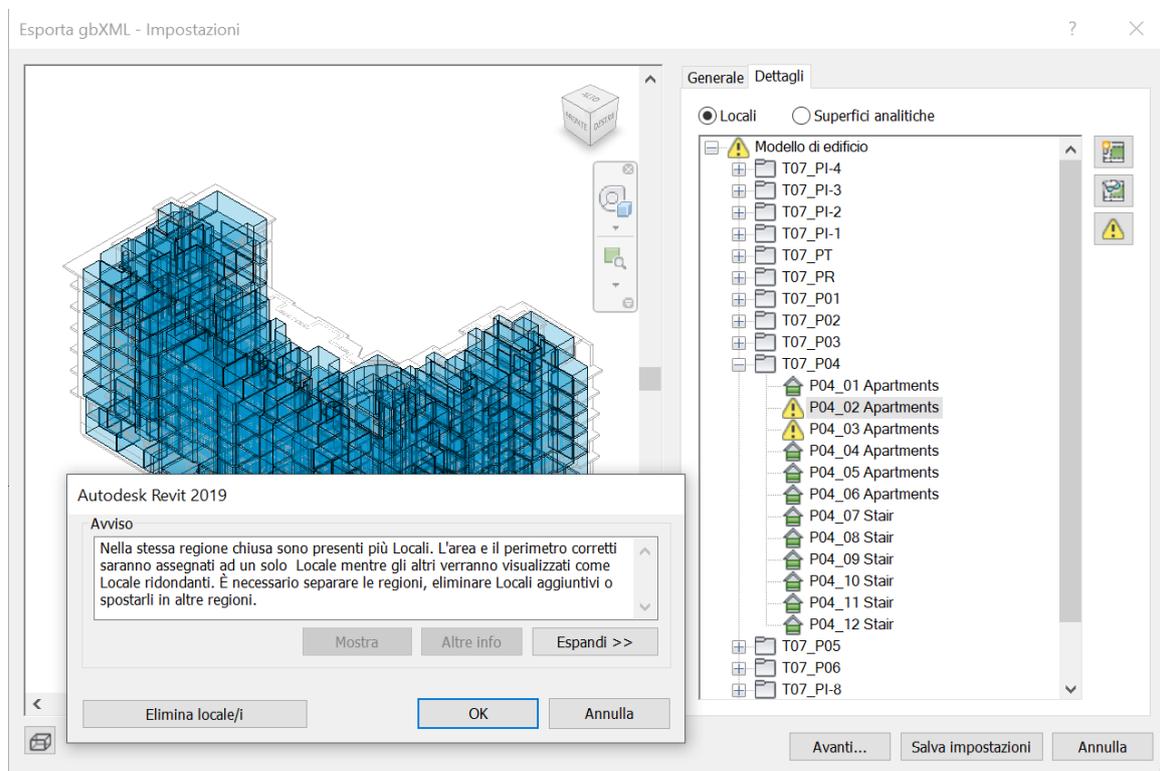


Fig. 36: Errori durante l'esportazione del modello energetico.

Tale problema causa dei vuoti indesiderati nel modello di DesignBuilder. Controllati e annullati tutti gli avvisi di errore è stato possibile esportare il modello.

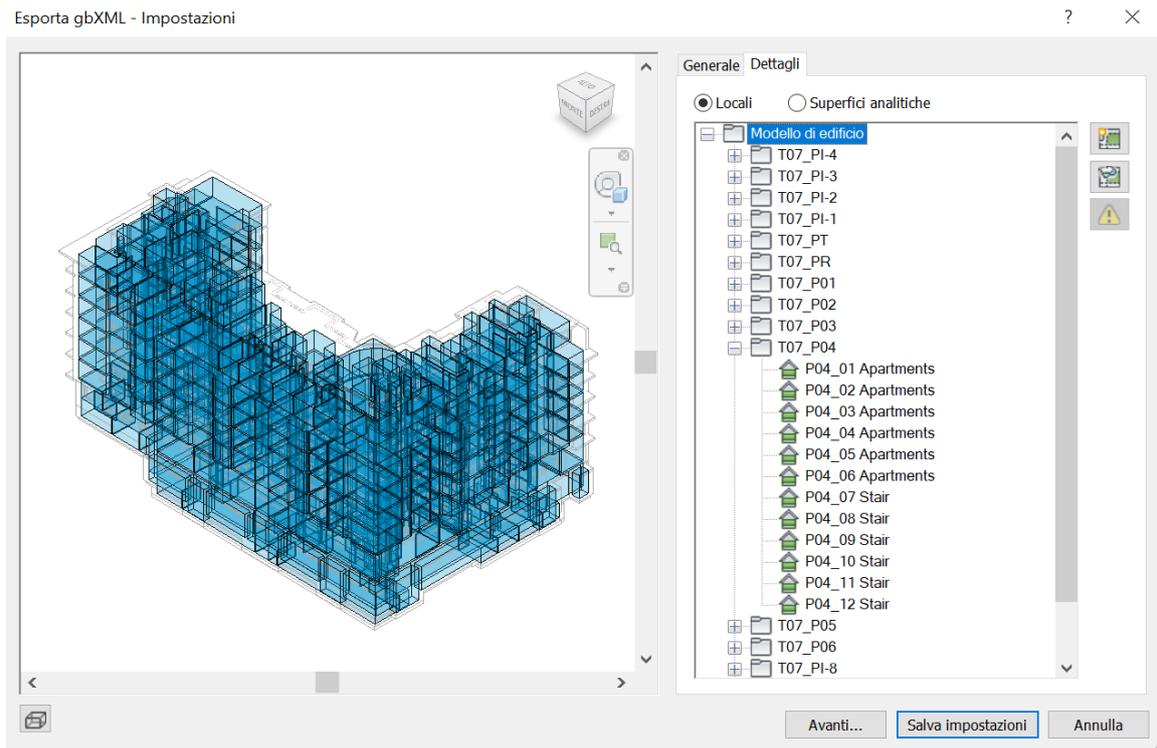


Fig. 37: Correzione degli errori durante l'esportazione del modello energetico.

L'esportazione del file gbXML avviene semplicemente cliccando sul tasto "salva impostazione" come si può vedere nella figura 37.

I problemi legati alla nomenclatura e alle proprietà termiche possono essere risolti esportando nuovamente il modello da Revit e reimportandolo su DesignBuilder, quindi possono essere considerati come errori dovuti al software. Mentre per gli errori di geometria, stanze non completamente chiuse e intersezioni fra locali si è andati nuovamente su Revit a perfezionare il modello parametrico per correggere tali errori.

È sempre opportuno ricordare, quando si effettuano modifiche al modello, che bisogna confrontare il modello BIM con il modello EAM perché può succedere che alcune superfici vengano riconosciute in modo diverso.

6.3.4 DesignBuilder

Quando si inizia a creare un nuovo progetto su DesignBuilder, le prime informazioni fondamentali che vengono richieste sono quelle inerenti alla collocazione dell'edificio per poter valutare il file climatico corretto e la tipologia di analisi, consentendo così agli utenti di scegliere tra tre tipologie: EnergyPlus, Klima Europa e DBSim.

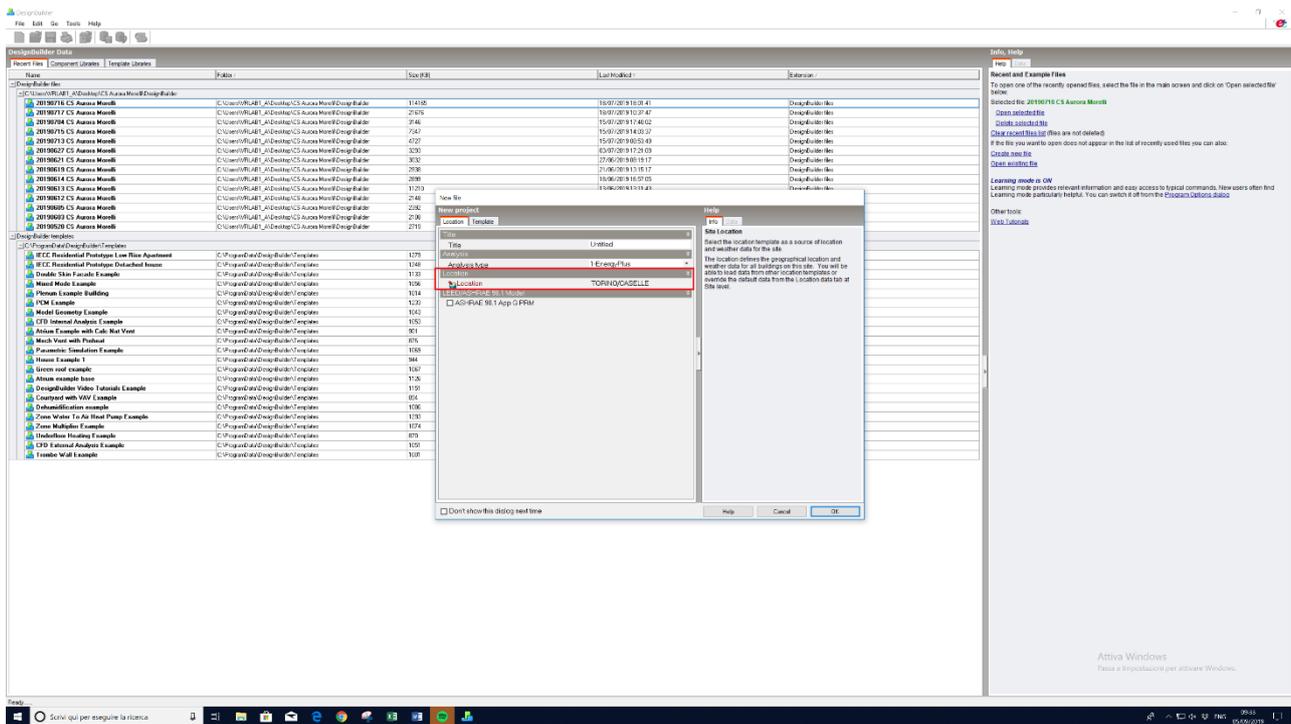


Fig. 38: Importazione di un nuovo modello di DesignBuilder.

Effettuata l'importazione del modello BIM nel software DesignBuilder attraverso il formato file *gbXML* si passò a definire tutti i parametri presenti nelle varie schede.

In un primo momento, il software DesignBuilder, ha mostrato degli errori con l'importazione delle proprietà termofisiche dal modello Revit, quindi non sono stati importati i materiali all'interno di DesignBuilder. Questo lo si può vedere perché la cartella delle impostazioni dei materiali risulta vuota.

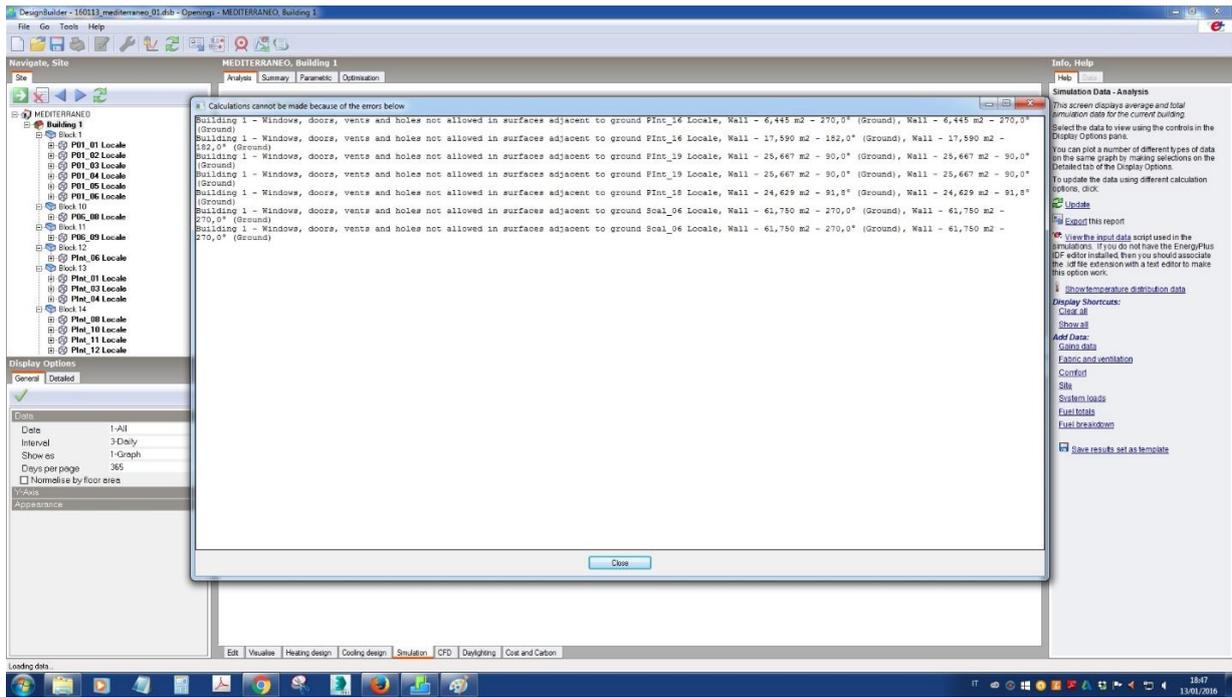


Fig. 39: Errori di importazione in DesignBuilder dal BIM.

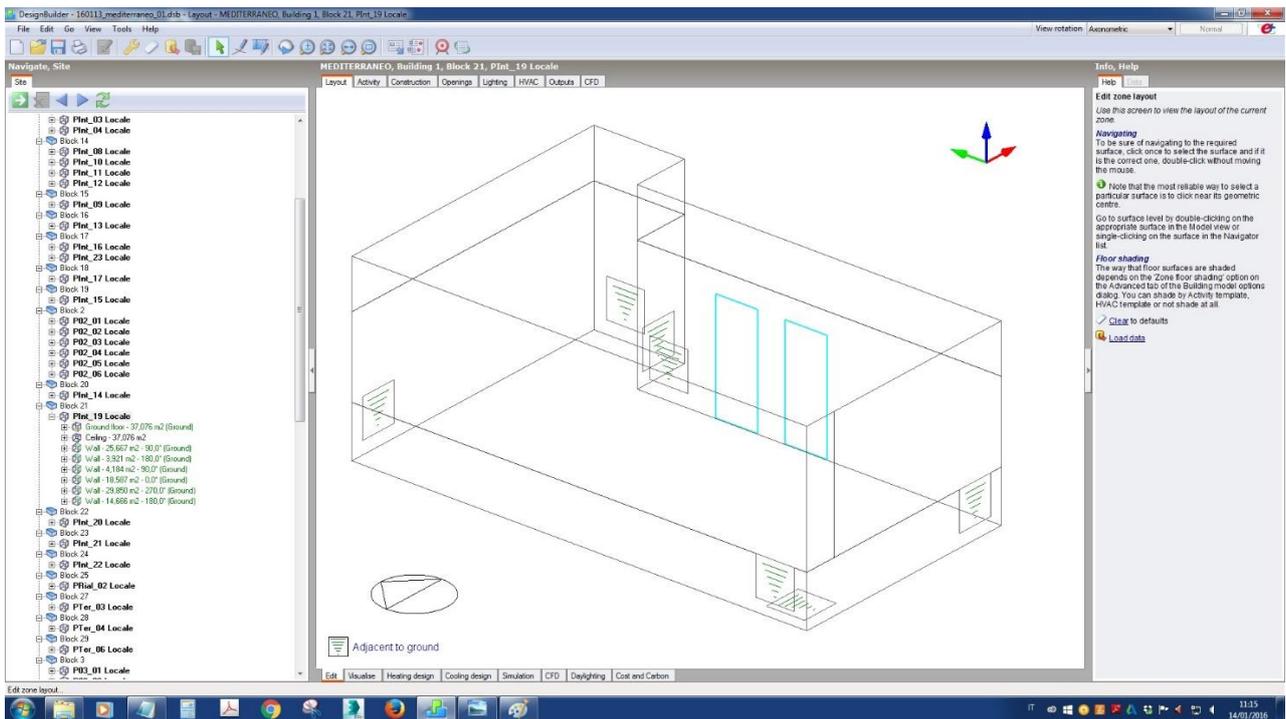


Fig. 40: Errori di importazione in DesignBuilder dal BIM.

DesignBuilder ci avvisa che gli spazi sono chiusi e ci dà il numero di blocchi e le zone disegnate risultano corrette, però guardando l'edificio nel suo insieme attraverso la navigazione 3D, si può notare che non sono stati visualizzati dei muri.

Per adempiere a questo problema, si è fatto un passaggio intermedio, cioè attraverso un programma di visualizzazione, in questo caso si è utilizzato *SketchUp*.

SketchUp è un programma di grafica per la modellazione 3D ed orientato alla progettazione architettonica, all'urbanistica, all'ingegneria civile, allo sviluppo di videogiochi e alle professioni correlate. Le piattaforme supportate sono Windows e Mac.

Questo software ha le caratteristiche di essere molto versatile, potente e nello stesso tempo molto semplice da apprendere ed usare. Ha i suoi punti di forza nella creazione di forme bidimensionali e tridimensionali, fornendo al disegnatore uno strumento intuitivo e veloce, in grado di assisterlo dal punto di vista grafico e di consentirgli un'esplorazione dinamica e creativa degli oggetti, dei materiali e dell'impatto della luce solare.

Data la sua natura molto duttile, SketchUp può supportare in importazione ed esportazione diversi formati grafici, come ad esempio:

- esportazione modelli 3D:
 - 3DS, DWG, DXF, FBX, OBJ, VRML, XSI (*solo versione Pro*)
 - KMZ, COLLADA (*entrambe le versioni*)
- importazione modelli 2D/3D
 - DWG e DXF (*solo versione Pro*) ←
 - COLLADA, KMZ, 3DS, DEM, DDF (*entrambe le versioni*)
- esportazione file vettoriali 2D:
 - PDF, EPS, EPIX (*solo versione Pro*)
- esportazione file raster 2D:
 - JPEG, TIFF, PNG (*entrambe le versioni*)

In questo caso, dal programma di modellazione parametrica usato per la realizzazione del modello BIM, attraverso il formato file DXF, si è provveduto ad esportare il modello per visualizzare gli eventuali errori letti dal software DesignBuilder in precedenza.

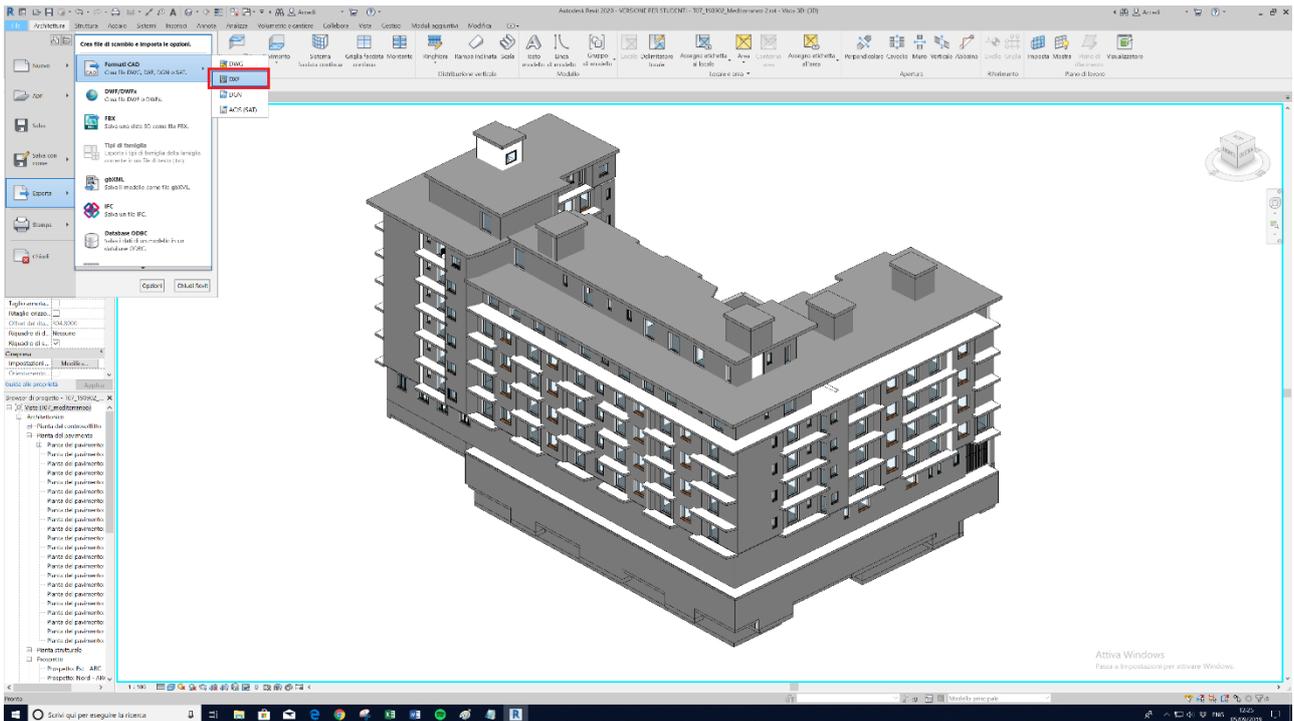


Fig. 41: Esportazione file DXF.

Importando il file DXF su SketchUp, possiamo notare effettivamente degli errori, dei vuoti nonostante tutti il modello BIM risulti essere chiuso con i muri.

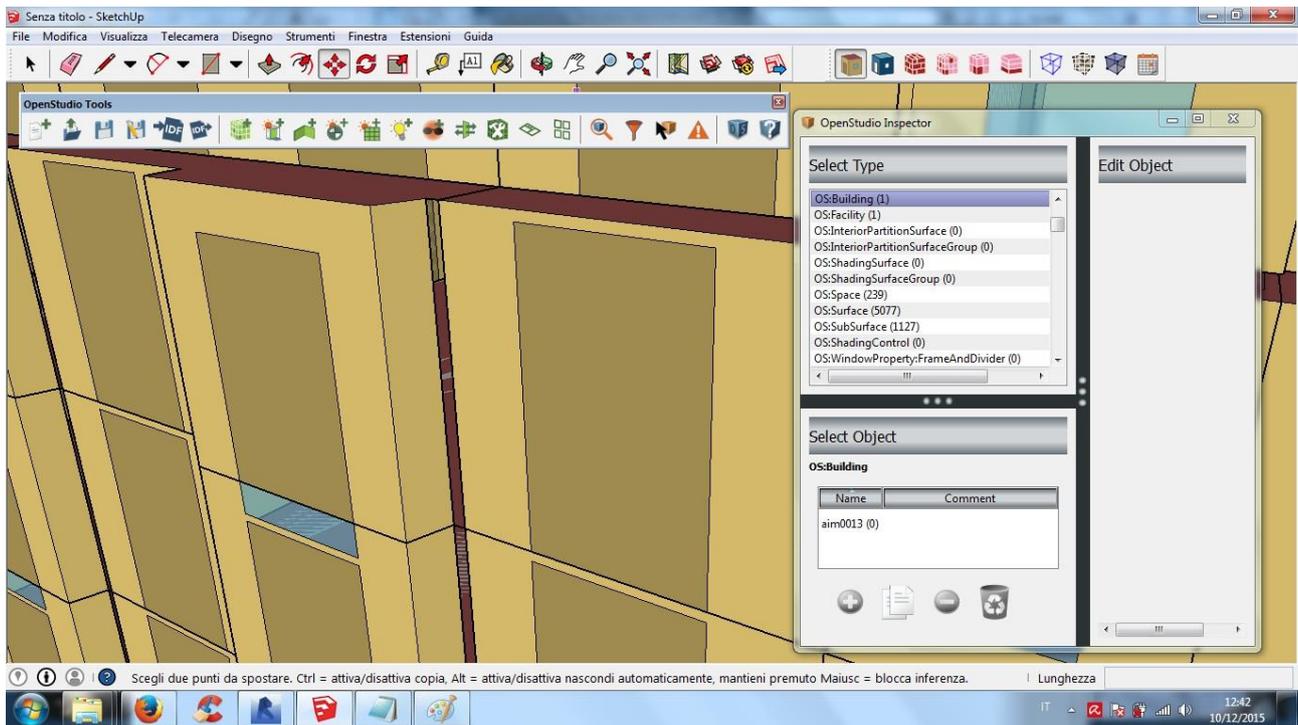


Fig. 42: Errori o mancanze dovute all'esportazione del file DXF.

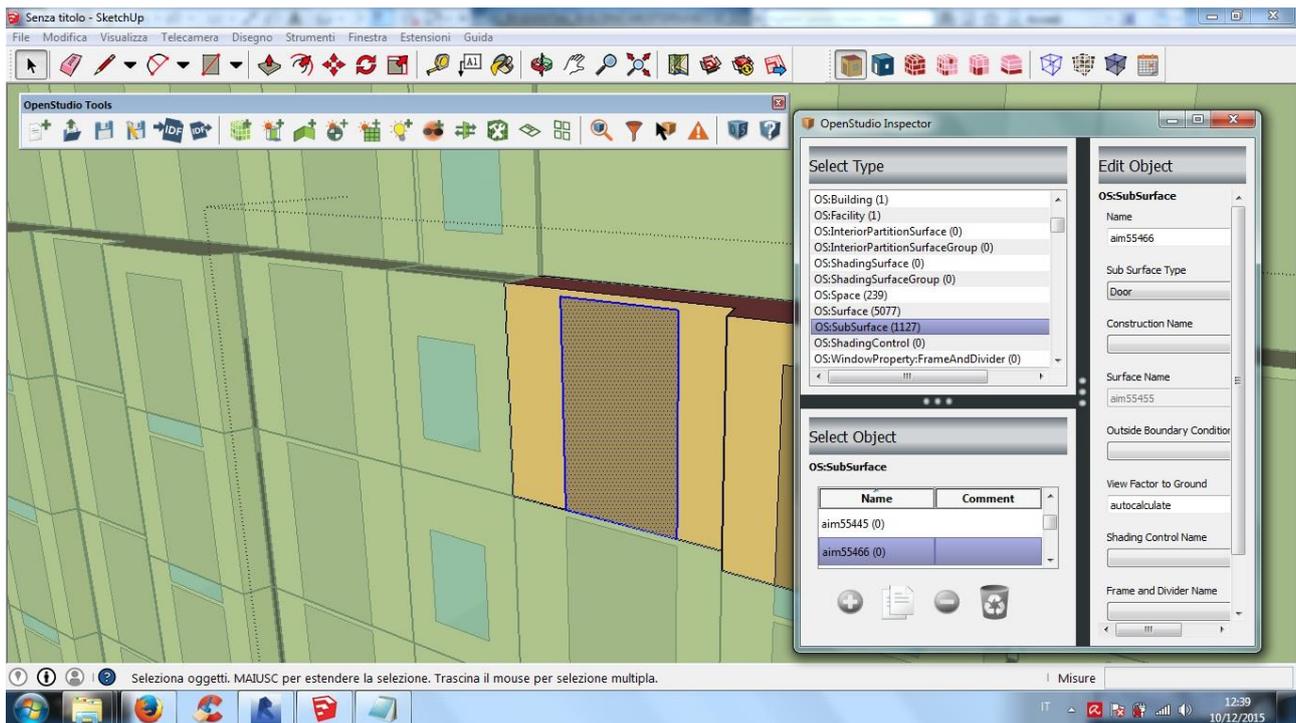


Fig. 43: Errori o mancanze dovute all'esportazione del file DXF.

Questo problema è stato successivamente risolto importando più volte il modello o riprovando ad esportare nuovamente il modello parametrico.

I dettagli dei balconi del modello BIM vengono visualizzati in DesignBuilder solo se è stata selezionata l'impostazione "delimitazione locale".

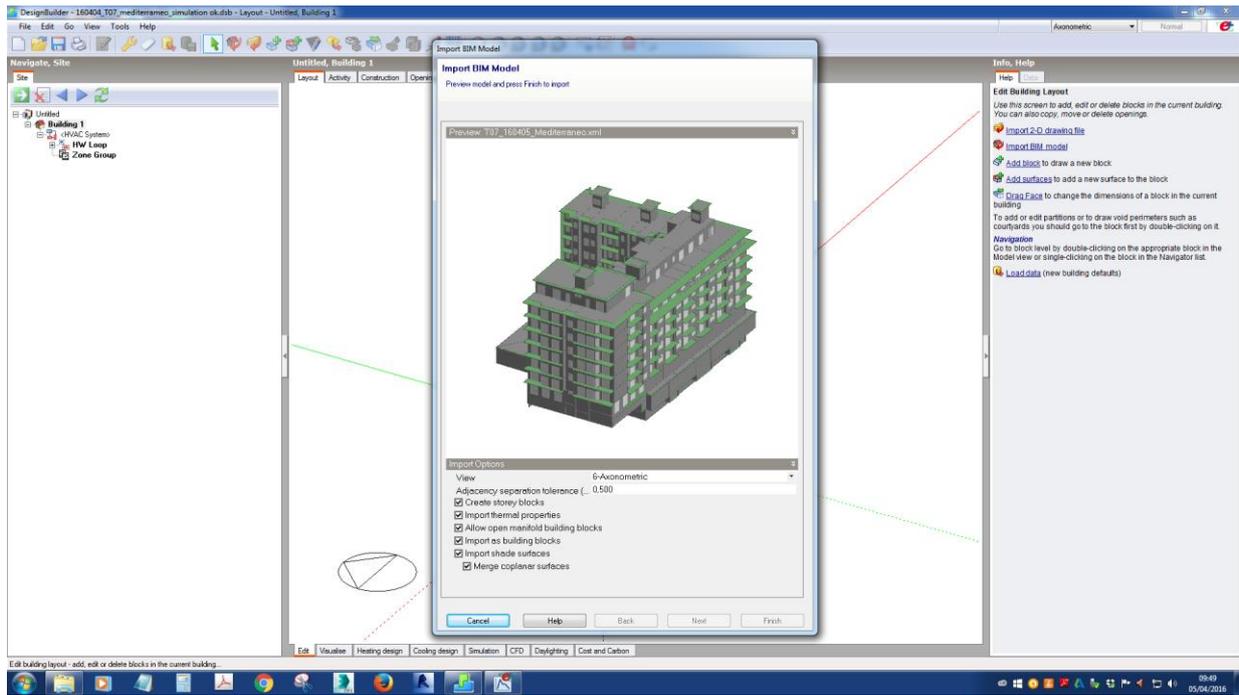


Fig. 44: Dettaglio dei balconi.

Successivamente alle modifiche effettuate per rendere il file gbXML idoneo e senza nessun errore per DesignBuilder avremo una schermata di questo genere.

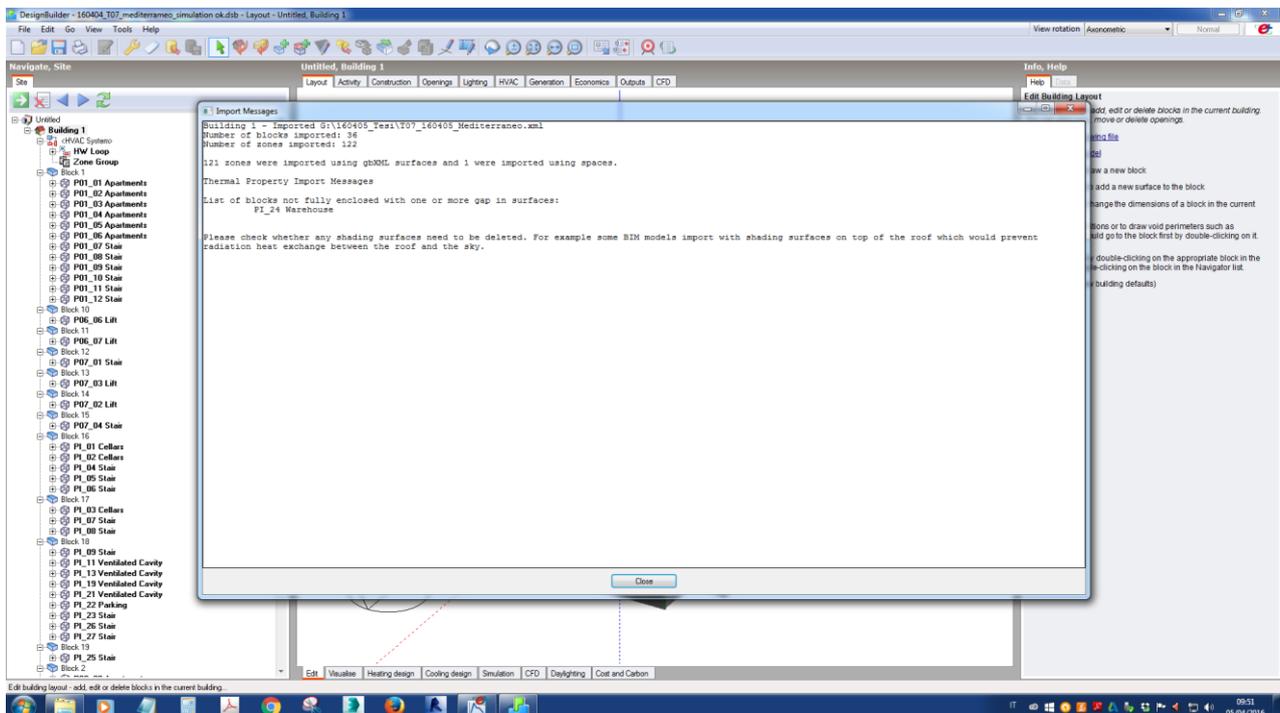


Fig. 45: Messaggio di importazione privo di errori.

Nella scheda "Costruzione", come detto precedentemente, si assegnano le stratigrafie alle varie partizioni orizzontali e verticali. Impostati tutti i parametri si è passati alla definizione del tipo di impianto di riscaldamento da utilizzare.

Nella figura successiva dell'impianto di riscaldamento dell'edificio è stata schematizzata una caldaia, la quale ha la stessa potenza del teleriscaldamento ed un'efficienza analoga.

All'interno dell'edificio, al sesto piano, vi è un appartamento tipo, nel quale sono presenti dei sensori che forniscono informazioni sulla variazione della temperatura interna dell'intero appartamento nel corso dell'anno.

Passando nella sezione "HVAC" abbiamo impostato il template relativo alla nostra tipologia di impianto. Nella stessa sezione "HVAC" sono impostati i template relativi al funzionamento dell'impianto creando un profilo di accensione e spegnimento.

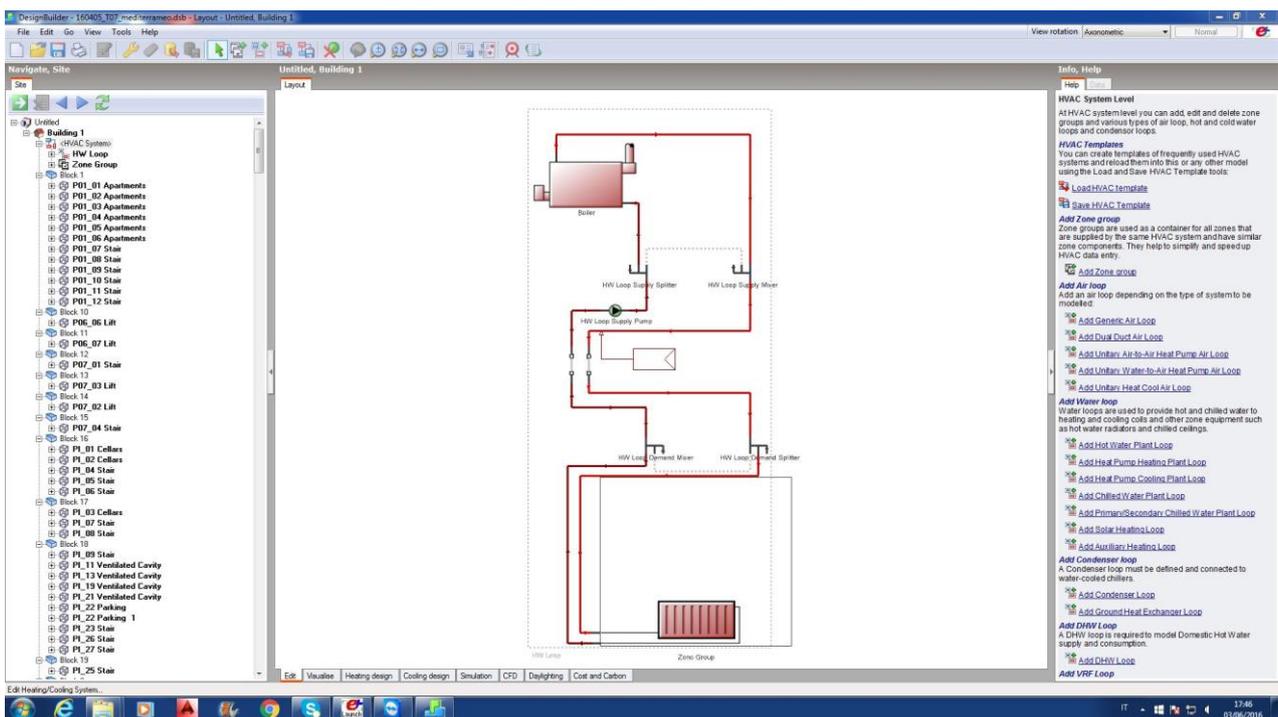


Fig. 46: Impostazione del sistema HVAC.

Sempre all'interno della sezione HVAC si possono implementare i dettagli, scegliendo e selezionando il modello dei terminali di impianto presenti all'interno dell'appartamento tipo. In questo caso vi sono

dei radiatori, i quali sono collegati al bollitore presente nel locale termico, che a sua volta è collegato alla rete pubblica di teleriscaldamento.

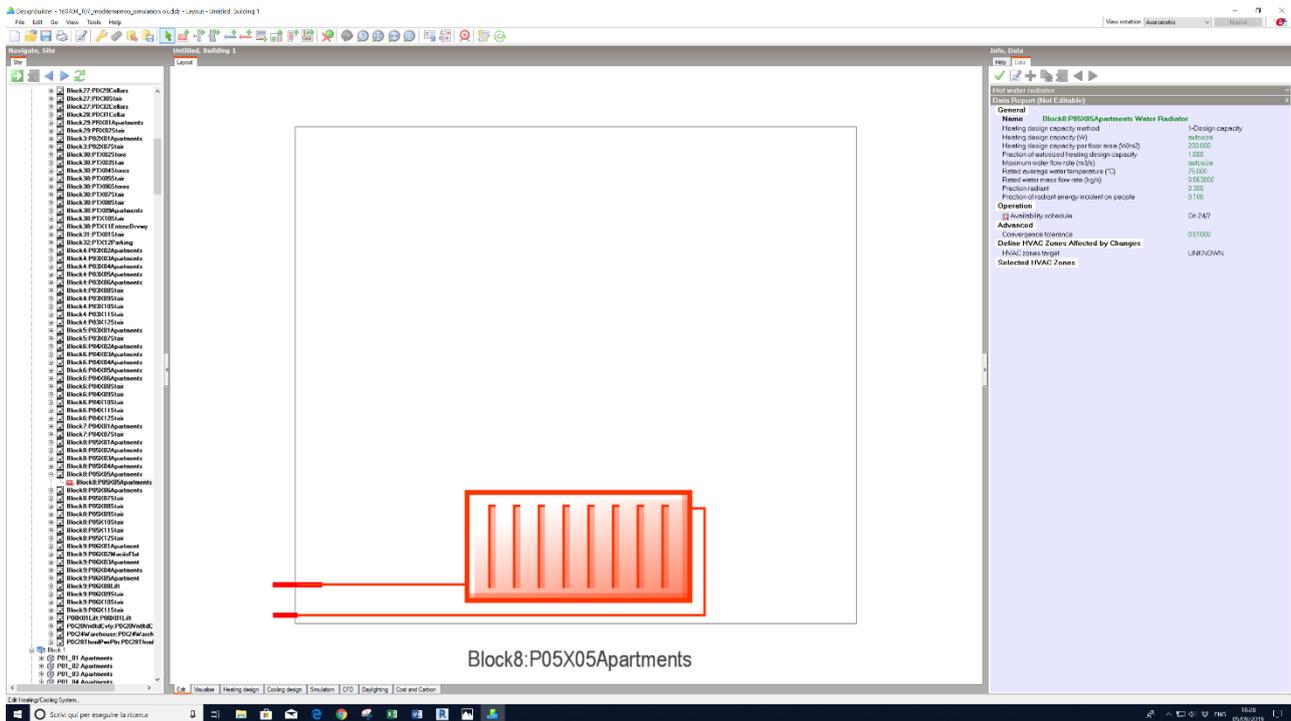


Fig. 47: Radiatore ad acqua tipo.

Cliccando col mouse sul simbolo del radiatore vengono visualizzate nella colonna di destra del desktop tutte le caratteristiche specifiche del radiatore, come ad esempio la temperatura dell'acqua che circola all'interno dello stesso cioè pari a 75°C, la capacità progettuale di riscaldamento per superficie, la frazione di energia radiante sulle persone pari a 0,1 W/m² k.

Considerando che il caso in esame è un appartamento, quindi usato per la maggior parte della giornata, il profilo scelto è stato quello di accendere alle ore 7:00 e spegnere alle ore 20:00 il riscaldamento, per tutto il periodo invernale. In particolare si è studiata una settimana campione che va dal 15,16,17 Novembre 2015 al 23,24,25 Novembre 2015.

Nel capitolo successivo verranno analizzate le simulazioni energetiche eseguite con EnergyPlus. In queste simulazioni verranno impostate le valvole termostatiche, non presenti all'interno dell'edificio. Inoltre verrà impostato un termostato, nella sottostazione di ingresso del teleriscaldamento dell'edificio, il quale anticiperà di qualche ora l'accensione del riscaldamento per evitare il picco di potenza richiesta.

Le simulazioni energetiche vengono eseguite nella sezione "Simulazioni", dove si può notare che non sono del tutto veritiere, perché nel software DesignBuilder non c'è la possibilità di inserire il giorno di partenza della simulazione, quindi non è possibile effettuare un confronto con i dati reali provenienti dai sensori presenti nell'appartamento tipo.

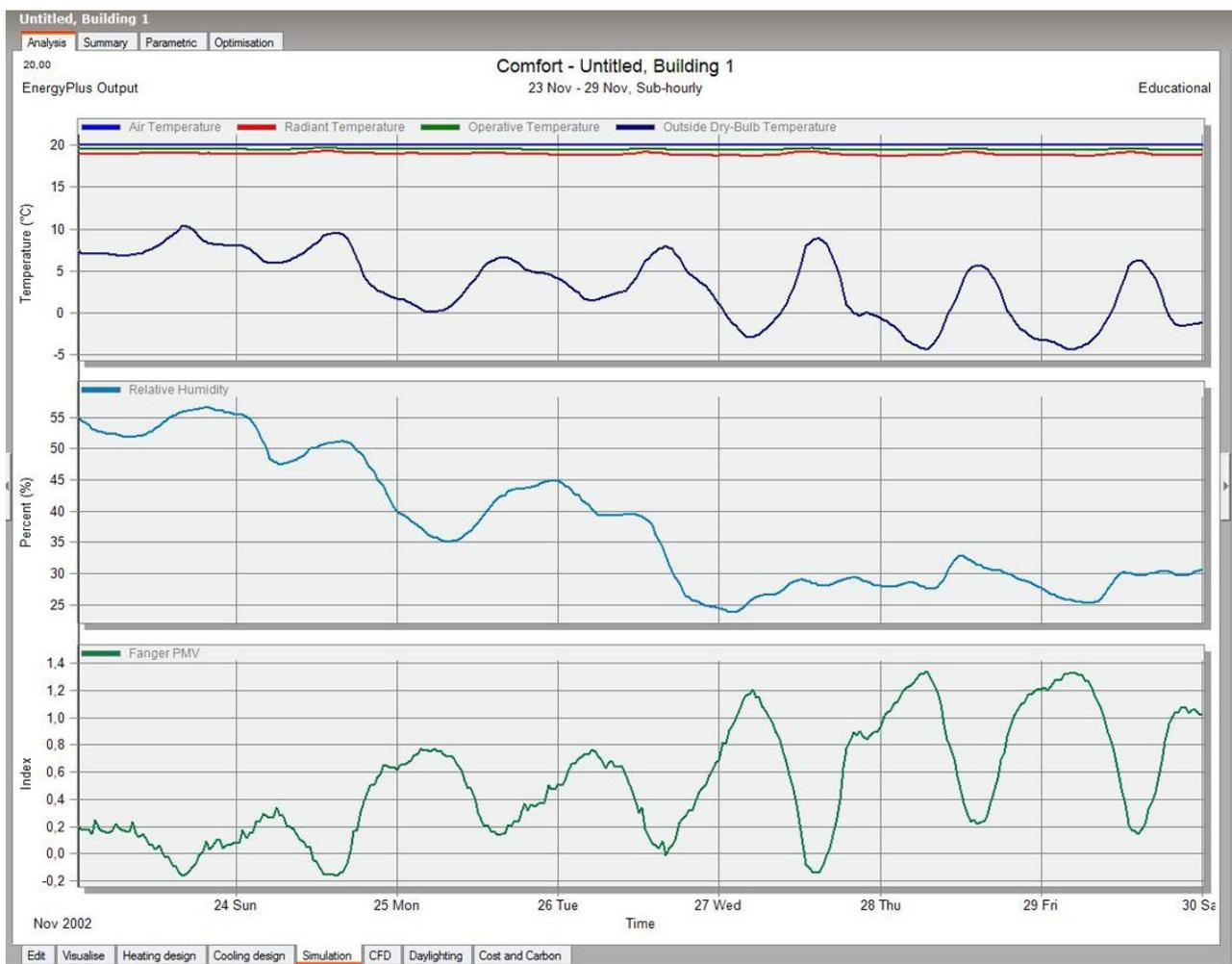


Fig. 48: Esempio di simulazione energetica con DesignBuilder.

Pertanto si decide di procedere nel fare le simulazioni con il software EnergyPlus, poiché tali problemi con quest'ultimo software sono facilmente risolvibili.

Resulting EAM accuracy & precision			
EAM Components	BIM	EAM	Difference
Spaces – Floor area (m ²)	10682,81	4194,29	-0,61
Spaces – Volume (m ³)	28220,45	14644,51	-0,48
Surfaces – Rooft (m ²)	1680,93	457,8	-0,73
Surfaces – Exterior walls (m ²)	7449,91	4664,79	-0,37
Surfaces – Interior walls (m ²)	11658,8	2162,33	-0,81
Surfaces – Interior floors (m ²)	8885,47	3033,99	-0,66
Surfaces – Underground wall (m ²)	3556,62	1427,66	-0,60
Surfaces – Basement (m ²)	2362,36	1377,56	-0,42
Surfaces – Windows (m ²)	967,34	950,59	-0,02
Average Difference			-0,59

Fig. 49: Scheda della domanda di energia.

Profiles
Schedule: Compact
On,
Any Number,
Through: 12/31,
For: Weekdays,
Until: 00:00, 00,
Until: 05:00, 00,
Until: 05:30, 80,
Until: 06:00, 80,
Until: 07:00, 80,
Until: 08:00, 80,
Until: 09:00, 70,
Until: 10:00, 70,
Until: 11:00, 00,
Until: 12:00, 70,
Until: 13:00, 70,
Until: 14:00, 60,
Until: 15:00, 60,
Until: 16:00, 00,
Until: 17:00, 80,
Until: 18:00, 60,
Until: 22:00, 60,
Until: 23:00, 00,
Until: 24:00, 00,
For: Weekends,
Until: 24:00, 00,

Fig. 50: Scheda di domanda di energia.

7 EnergyPlus Simulazioni energetiche

7.1 Importare un modello in EnergyPlus

Partendo da DesignBuilder, una volta che il modello è stato impostato e parametrizzato correttamente e dopo aver effettuato delle simulazione energetiche, si può esportare un file *.idf* come di seguito:

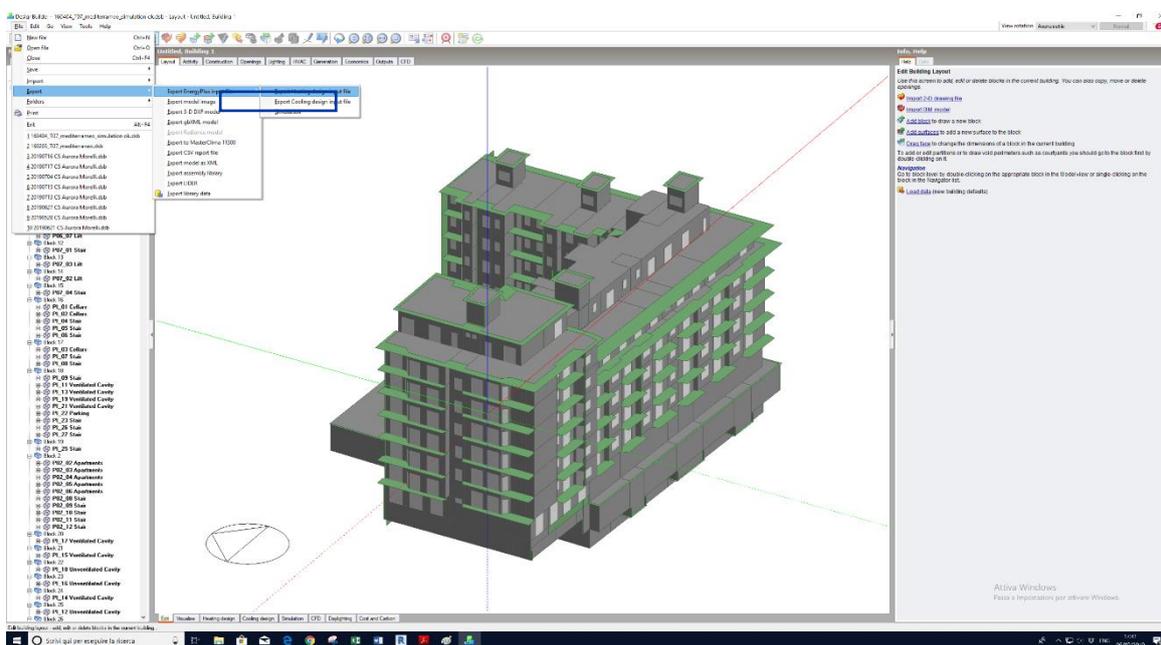


Fig. 51: Percorso di esportazione file *.idf* da DesignBuilder a EnergyPlus.

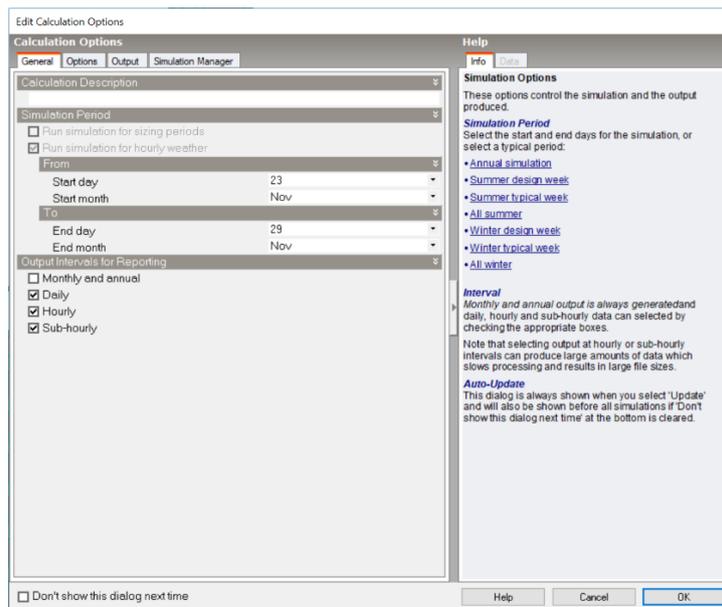


Fig. 52: Fase successiva del percorso di esportazione file .idf da DesignBuilder a EnergyPlus.

Una volta importato il modello in EnergyPlus, la fase successiva consiste nel controllare se sono stati importati tutti i dati in maniera corretta, rispettando la nomenclatura della codifica adottata per l'intero progetto. La prima verifica effettuata consiste nel controllare nelle schedule "Material" e "Costruction" se è stato segnato tutto come "importato", cioè se sono stati importati tutti i materiali impostati in precedenza su Revit e poi su DesignBuilder. Effettivamente, durante la prima importazione è risultato che non sono stati importati i materiali. Risolto il problema dell'importazione completo del modello si è potuto procedere con le impostazioni dei vari fattori.

Visualizzando la scheda "zone" è possibile verificare se sono stati importati tutti i locali con le rispettive aree e volumi. Per di più, possiamo verificare se all'interno della scheda "materiali", "costruzione" sono stati importati tutti i materiali con le rispettive proprietà fisiche e termiche e le stratigrafie dei componenti opachi, come muri e tetti, in forma corretta.

7.2 Impostazioni dei dati e validazione dei risultati delle simulazioni energetiche

In questo paragrafo spiegheremo come sono stati inseriti in modo molto preciso informazioni sull'edificio reale e sull'impianto di riscaldamento presente al suo interno. Dare maggiori

informazioni al programma farà in modo che i risultati effettuati su EnergyPlus saranno più vicini ai risultati reali.

Questa fase di simulazione energetica eseguita con EnergyPlus, è stata elaborata da altri membri dello stesso dipartimento DISEG ma anche da parte di altri membri del dipartimento di energetica DENERG.

La prima operazione effettuata è stata quella di selezionare solo gli output utili alla finalità del progetto, ovvero quei dati che ci permettono di capire l'andamento delle condizioni termometriche interne ed esterne ed i consumi energetici per il riscaldamento. Diminuire il numero richiesto di output permette infatti di limitare il tempo per il calcolo computazionale.

In EnergyPlus sono stati impostati dei parametri in key value nel quale sono stati i seguenti parametri che voglio visualizzare da un menù a tendina cioè Variable nome:

- Zone Mean Air Temperature
- Zone Operative Temperature
- Zone Mean Air Dewpoint Temperature
- Zone Mean Air Humidity Ratio
- Boiler Heating Energy
- Boiler Heating Rate
- Boiler Gas Rate
- Boiler Gas Energy
- Boiler Inlet Temperature
- Boiler Outlet Temperature
- Boiler Mass Flow Rate

È stato inserito per ogni key value l'* perché si è voluto avere questi parametri per tutti i locali dell'edificio. Invece se non si desiderasse questa informazione tutti i locali di fianco al key value potremmo inserire il nome del locale specifico per cui vorremmo il risultato.

8 Validazione del modello energetico

La fase successiva al termine delle simulazioni energetiche è quella della validazione del modello, che consiste nel controllare i risultati ottenuti dalle simulazioni energetiche e confrontarli con i dati reali della temperatura interna ed esterna che sono stati rilevati rispettivamente dai sensori presenti in un appartamento campione interni ed esterni.

All'interno dell'appartamento campione sono stati installati dei sensori per l'acquisizione in tempo reale dei dati ed hanno la seguente nomenclatura:

- Sensore 106: situato in soggiorno;
- Sensore 142: situato in cucina;
- Sensore 143: situato sul balcone;
- Sensore 235: situato in camera da letto.

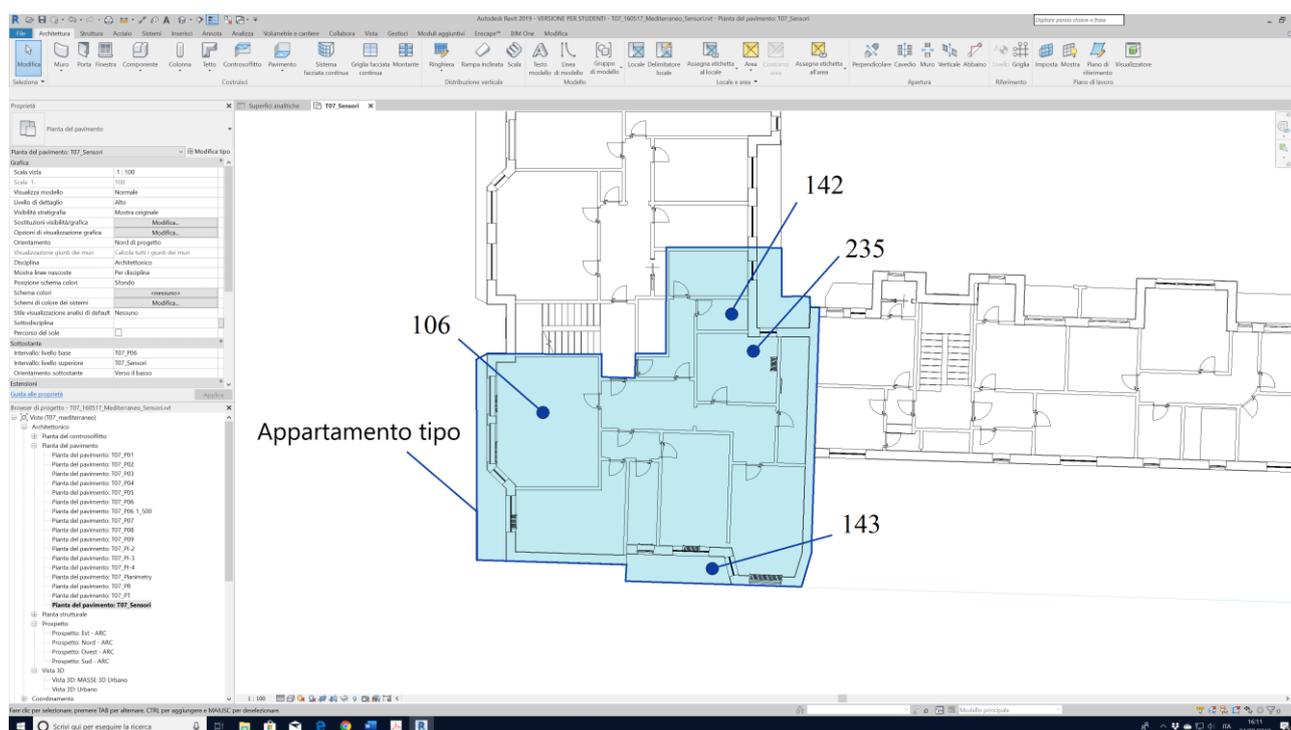


Fig. 53: Locazione dei sensori nell'appartamento campione.

Affinchè il modello risulti validato, bisogna confrontare alcuni giorni in cui la temperatura esterna era simile alla temperatura del weather file utilizzato per la simulazione. Quando la temperatura

esterna era simile a quella del weather file di DesignBuilder si è andati a verificare se le temperature interne rilevate e simulate fossero simili.

È stata scelta la settimana dal 23 al 29 Novembre perché il weather file era simile.

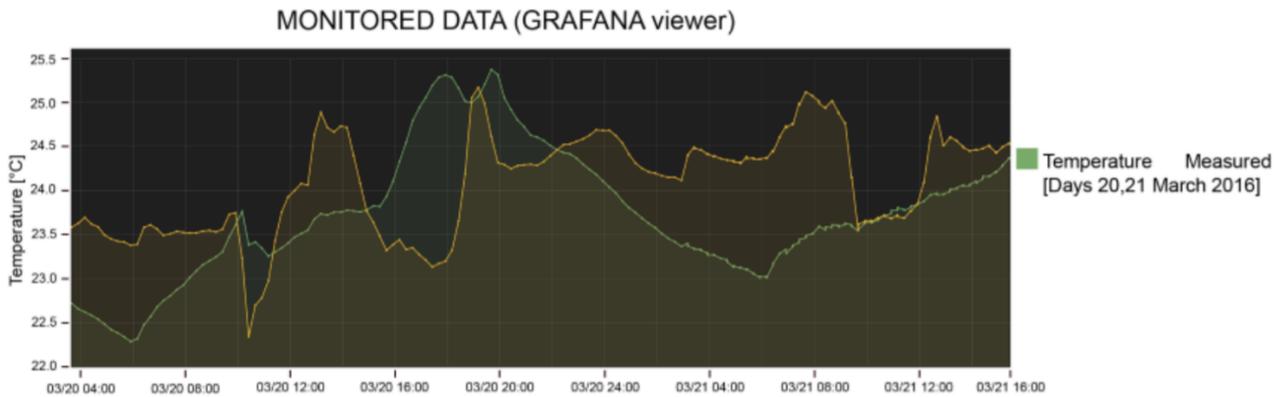


Figura 54: Grafana: grafico delle temperature misurate dei giorni 20, 21 Marzo 2016

Dal grafico di grafana di vedono in verde i dati misurati della temperatura, che vanno da 22°C a 25 °C. mentre i dati in giallo sono relativi all'umidità dell'aria. In questo grafico si può notare il picco delle temperature interne nel salotto durante il pomeriggio dovuto al contributo solare.

Invece guardando il grafico delle temperature simulate, si può notare come il grafico risulti più piatto, più squadrato, mentre nel grafico di grafana l'andamento dei dati misurati ha un andamento più naturale.

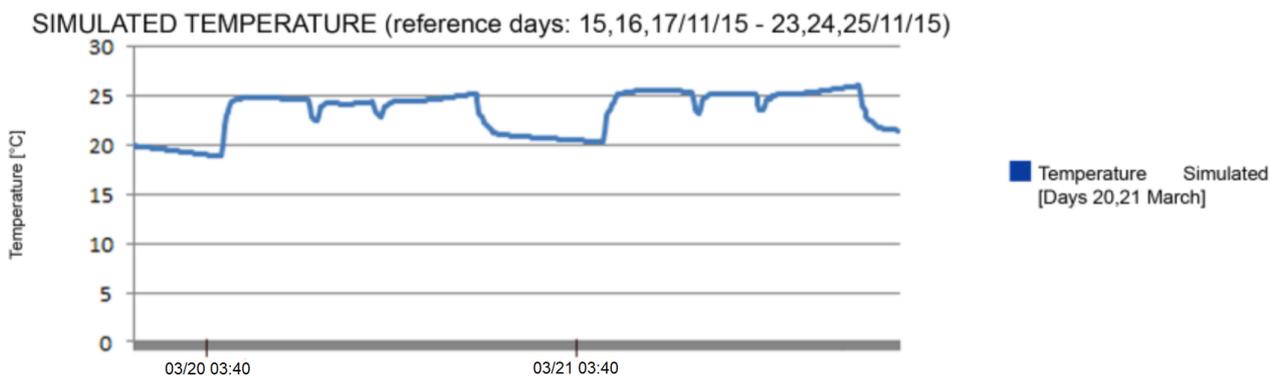


Figura 55: Grafico delle temperature simulate nei giorni 20, 21 Marzo 2016

Questo primo tipo di validazione non è abbastanza preciso. Un altro tipo di validazione è quella della firma energetica che viene presentato di seguito.

Mettere a confronto dati di una simulazione che hanno un weather file, con dati monitorati che hanno un proprio clima diverso, dal weather file standard, porta a fare supposizioni o comunque a non poter confrontare direttamente i dati ed è per questo che facciamo la firma energetica.

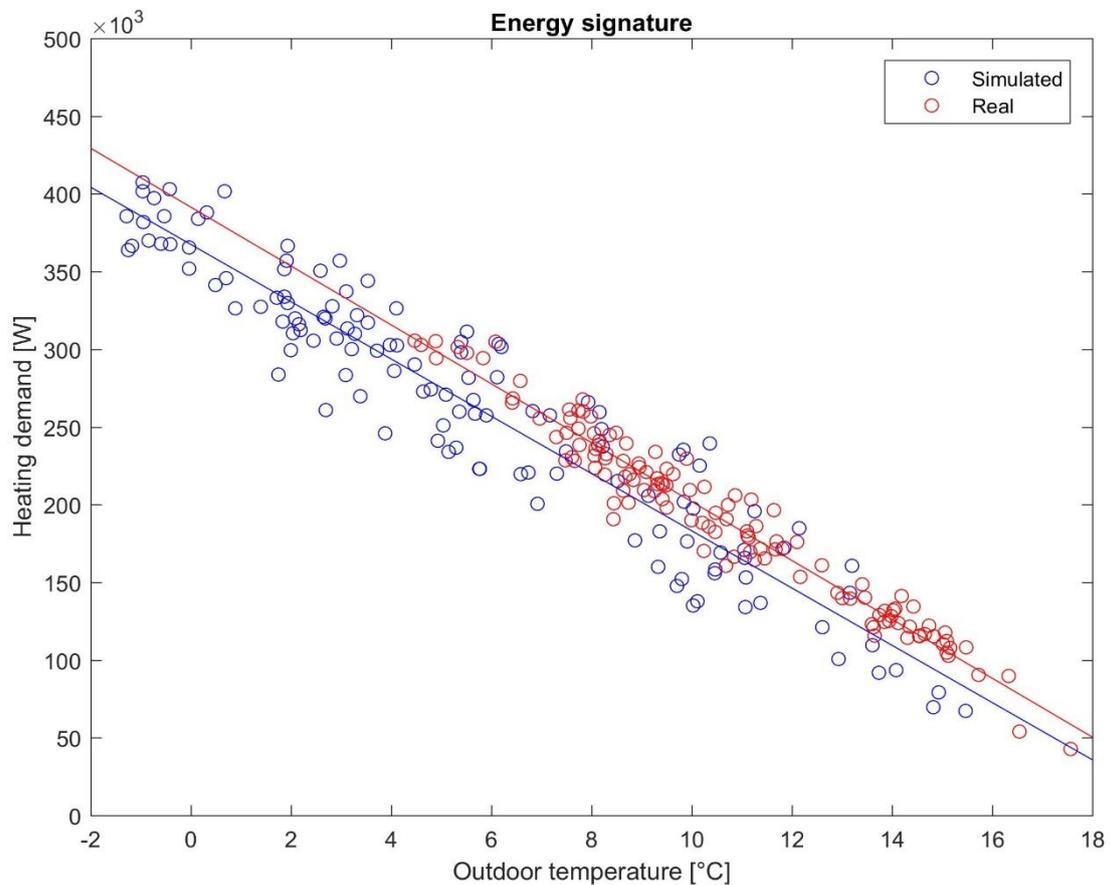


Fig. 56: Firma Energetica.

Nella firma energetica ogni pallino corrisponde alla potenza richiesta in base alla temperatura esterna quindi ad ogni giorno della settimana corrisponde un pallino. Ogni giorno si avrà una temperatura media del giorno diversa.

Più saranno compatti i pallini più il margine di errore nei nostri calcoli è ridotto.

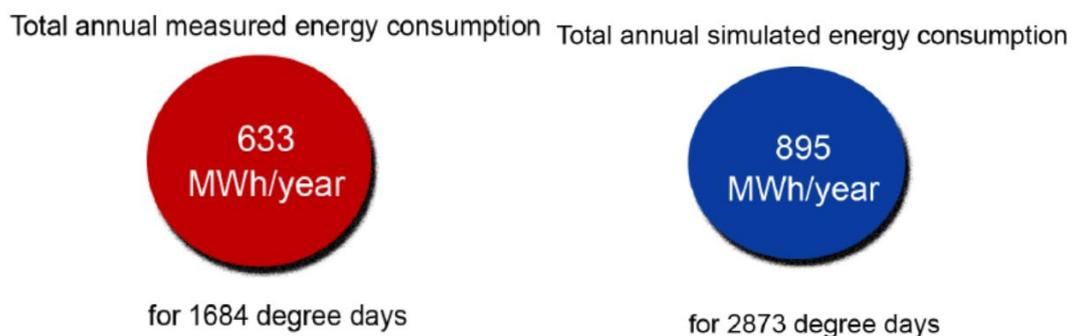
Ciò ci permette di vedere i consumi reali e simulati attraverso la visualizzazione di un grafico. Se entrambi i dati risultano più vicini possibili, vuol dire che l'andamento dei dati reali monitorati ed il modello energetico reale sono simili. I dati del consumo sono noti a livello di edificio, alla sottostazione del teleriscaldamento.

Al contrario, se le due rette fossero molto lontane fra loro significherebbe che i valori sono molto lontani e che quindi dobbiamo rivedere qualcosa nelle condizioni al contorno del modello, bisogna fare un passo in dietro e intervenire di nuovo sulle impostazioni inserite all'interno del software di simulazione, come la stratigrafia o le temperature interne. La temperatura interna nella realtà potrebbe infatti discostarsi dalle condizioni di setpoint di confort ambientale inserite nel modello usato per la simulazione: in questo caso è necessario approfondire sul campo le temperature reali tenute negli appartamenti per poter tarare meglio il modello.

Per esempio, all'inizio abbiamo avuto dei risultati non idonei perché inizialmente avevamo considerato riscaldato un locale che non doveva esserlo.

Questa simulazione è stata effettuata sull'intero edificio.

Per poter confrontare i consumi totali della simulazione con quelli rilevati nella realtà bisogna controllare il totale dei gradi giorno della stagione reale che abbiamo monitorato con quelli de weather file del modello simulato. Guardando i grafici sotto, si ha: in rosso i dati misurati mentre in blu quelli della nostra simulazione. In questo caso notiamo che consumiamo di più nella simulazione, ma i gradi giorno del nostro weather file sono molto di più dei gradi giorno della stagione reale considerata.



Inoltre alla validazione dei risultati ottenuti, sono stati calcolati i "gradi giorno" del rispettivo periodo. I gradi giorno di una località sono definiti come la somma sviluppata su tutti i giorni, in un periodo di un anno di riscaldamento, considerando solo le differenze positive giornaliere fra la temperatura interna convenzionale e la temperatura esterna media giornaliera. Vi è una norma vigente che regola i gradi giorno. La norma UNI EN ISO 15927-6:2008 che stabilisce la definizione, metodologia di calcolo e metodologia di presentazione dei dati relativi alla differenza di temperatura, cioè i gradi giorno, per stimare l'energia utilizzata per il riscaldamento degli edifici. In Italia in base ai gradi

giorno sono state definite delle fasce climatiche per tutto il territorio italiano ed i rispettivi limiti massimi nel periodo annuale di attività di un impianto termico e durante la giornata di attivazione.

Torino, per esempio, è in fascia climatica E con 239 m sopra il livello del mare e 2617 gradi giorno.

Di conseguenza, per i gradi giorno reali sono stati presi quelli misurati dal termostato esterno, mentre per i gradi giorno simulati delle temperature medie giornaliere sono state con EnergyPlus inserendo una nuova variabile di nome in "Zone outdoor air Drybulb temperature".

Fascia	Da [GG]	A [GG]	Ore giornaliere ^[7]	Data inizio ^[7]	Data fine ^[7]	Numero comuni
A	0	600	6	1° dicembre	15 marzo	2
B	601	900	8	1° dicembre	31 marzo	157
C	901	1400	10	15 novembre	31 marzo	989
D	1401	2100	12	1° novembre	15 aprile	1611
E	2101	3000	14	15 ottobre	15 aprile	4271
F	3001	+∞	nessuna limitazione (<i>tutto l'anno</i>)			1071

Fig. 57: Tabella fasce in relazione ai gradi giorno.

Se noi mettiamo a confronto i dati monitorati con i dati simulati delle temperature esterne troviamo molte discrepanze e c'è tanto margine d'errore e quindi non possiamo dire che il modello è validato. Invece se mettiamo a confronto il totale del consumo sulla stagione con il totale del consumo simulato non ci rendiamo conto se il modello è effettivamente validato o meno, perché come vediamo per la stagione reale abbiamo 633 MWh/anno contro i 895 MWh/anno per i simulati. Se facciamo il conto per i gradi giorno vediamo che sono diversi e non riusciamo a renderci conto confrontando questi 4 numeri se il modello è validato o meno. Quindi dobbiamo ricorrere alla firma

energetica che anche solo visivamente ci dice già se i due modelli si avvicinano a quello che è il consumo della stagione.

La temperatura esterna dei dati rossi che sono quelli monitorati sono quelli dati dal sensore esterno.

9 Creazione degli scenari

9.1 Impostazioni degli scenari

Terminata la fase di validazione del modello energetico si è passati a realizzare un'ulteriore passo, cioè quello di creare delle nuove ipotesi di scenari di intervento per avere un risparmio energetico e migliorare il confort termico e le condizioni della temperatura all'interno di un locale.

Iniziamo la fase di ipotesi cambiando diversi elementi attraverso vari scenari di simulazione.

Si è duplicato il modello BIM reale per tre volte, nel quale in ognuno di essi sono stati apportati differenti modifiche in base alle simulazioni da effettuare, come:

Scenario 1: superfici trasparenti con termostato;

Scenario 2: superfici opache con termostato;

Scenario 3: peak shaving con termostato;

Il quadro metodologico applicato in questa fase del progetto, prevede delle ipotesi di ristrutturazione come rappresentato nella figura seguente:

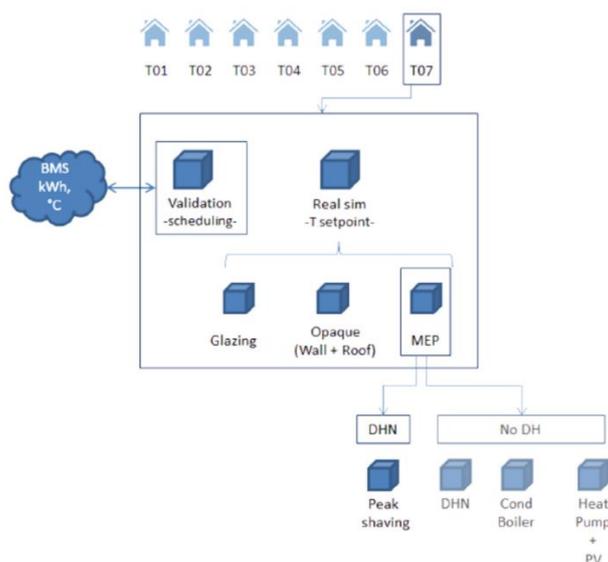


Fig. 58: Quadro metodologico degli scenari.

Di base, in tutti e tre gli scenari abbiamo ipotizzato l'installazione di un termostato in ciascun ambiente perché nell'edificio non vi erano le valvole termostatiche, quindi la prima ipotesi è stata quella di inserire le valvole termostatiche per mantenere 20°C come da normativa. Il primo intervento, quindi, applicato a tutti gli scenari è stato quello di mettere le valvole termostatiche, perché altrimenti non potremmo controllare la temperatura interna di ogni locale di tutto l'edificio. Successivamente sono stati realizzati gli scenari. Questa analisi è stata condotta su EnergyPlus.

Questo capitolo è rappresentato nell'allegato "Tavola3".

9.2 Scenari

In questo paragrafo verranno esposte delle ipotesi di ristrutturazione o scenari di analisi per analizzare poi nel capitolo successivo se vi sono dei risparmi energetici e quando bisogna spendere per rendere ciò possibile.

Per procedere con gli scenari è stato realizzato una copia del file BIM su Revit 2019, nel quale sono state apportate delle modifiche in base agli scenari ipotizzati.

Per gli scenari è stato usato lo stesso impianto di riscaldamento.

9.2.1 Scenario 1: superfici trasparenti con termostato

Il primo scenario ipotizzato riguarda le superfici trasparenti. Tutte le finestre del modello validato in precedenza sono realizzate da un telaio fisso più un telaio mobile, mentre la superficie trasparente è formata da un vetro singolo con trasmittanza pari a 5,52 W/m² K. Di seguito sono riportate la lista delle tipologie di finestre presenti all'interno del modello BIM:

- T07_Window_50x60_01;
- T07_Window_210x70_01;
- T07_Window_230x70_01;
- T07_Window_210x80_01;
- T07_Window_210x90_01;

- T07_Window_170x100_01;
- T07_Window_210x100_01;
- T07_Window_230x100_01;
- T07_Window_170x120_01;
- T07_Window_50x130_01;
- T07_Window_60x130_01;
- T07_Window_70x130_01;
- T07_Window_80x130_01;
- T07_Window_110x130_01;
- T07_Window_140x130_01;
- T07_Window_160x130_01;
- T07_Window_210x145_01;
- T07_Window_230x150_01;
- T07_Window_230x160_01;
- T07_Window_170x170_01;
- T07_Window_230x170_01;
- T07_Window_270x170_01.

Nella figura 59 è riportato un'immagine della fase di impostazione dell'ipotesi di scenario relativo alle superfici trasparenti:

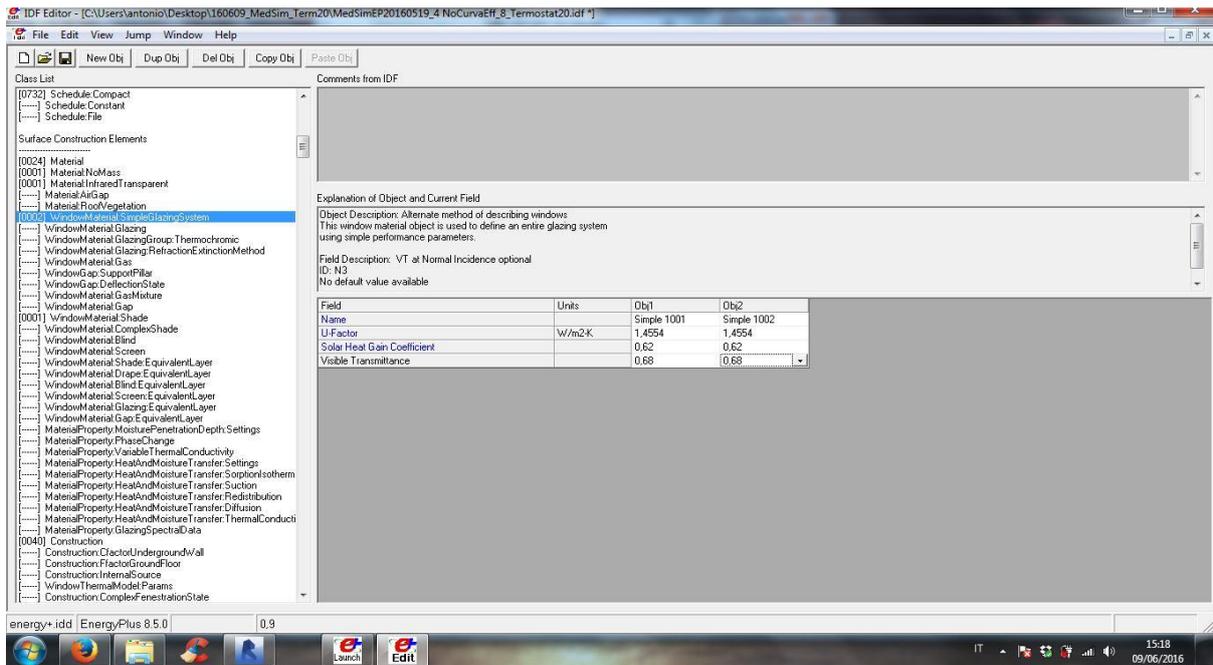


Fig. 59: Impostazioni per lo scenario per il vetro.

Dopo la ristrutturazione e quindi la modifica delle parti vetrate, si è passati da un vetro singolo ad un doppio vetro, con trasmittanza pari a $1,99 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, per aumentare le prestazioni energetiche.

Ripetendo la fase di simulazione energetica del consumo totale di energia simulato mensile esteso su un periodo totale di un anno risulta il seguente grafico:

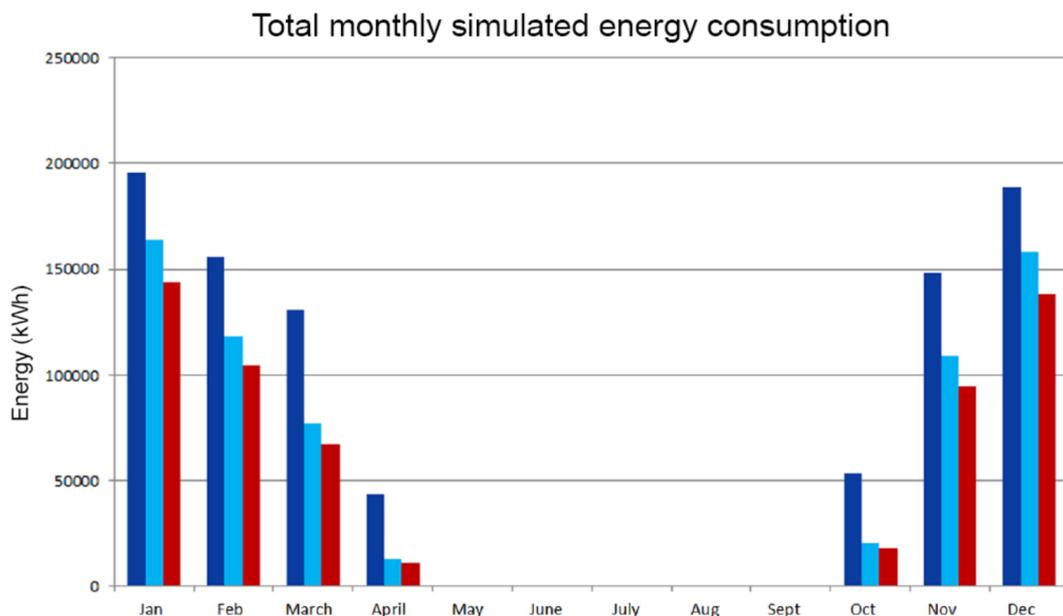


Fig. 60: Simulazione dei consumi di energia mensili distribuiti in un anno per lo scenario 1.

Dal grafico a barre vi sono tre tipi di dati.

- in blu vi sono i risultati del modello validato. È evidente in modo chiaro che per l'intero periodo di un anno hanno i valori più alti rispetto agli altri tipi di dati. Il valore complessivo di consumo annuo è pari a 916 MWh/annuo;
- in ciano sono riportati i risultati dei dati relativi al modello validato ma con l'aggiunta del termostato per il controllo dei consumi. È evidente che con l'aggiunta del termostato e potendo monitorare i dati dei consumi in tempo reale vi è un risparmio annuo consistente rispetto ai risultati del solo modello validato. Il valore complessivo di consumo annuo è pari a 660 MWh/annuo;
- in rosso, infine, sono riportati i dati relativi all'ipotesi di scenario di ristrutturazione, relativo solo alla sostituzione delle finestre. Si nota una drastica riduzione dei consumi annui rispetto ai precedenti. Il valore complessivo di consumo annuo è pari a 578 MWh/annuo.

Infine possiamo dire che investendo nella sostituzione delle finestre si ottiene un risparmio di energia sviluppata in un anno pari al:

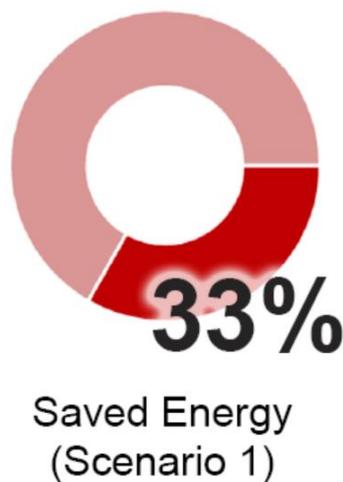


Fig. 61: Percentuale di risparmio di energia relativo allo scenario 1.

9.2.2 Scenario 2: superfici opache con termostato

Nella seconda ipotesi di scenario, si è intervenuti sulla superficie opaca, cioè si è ipotizzato di realizzare un cappotto esterno. Nella figura che segue si può notare dei settaggi per l'ipotesi di ristrutturazione dello scenario 2:

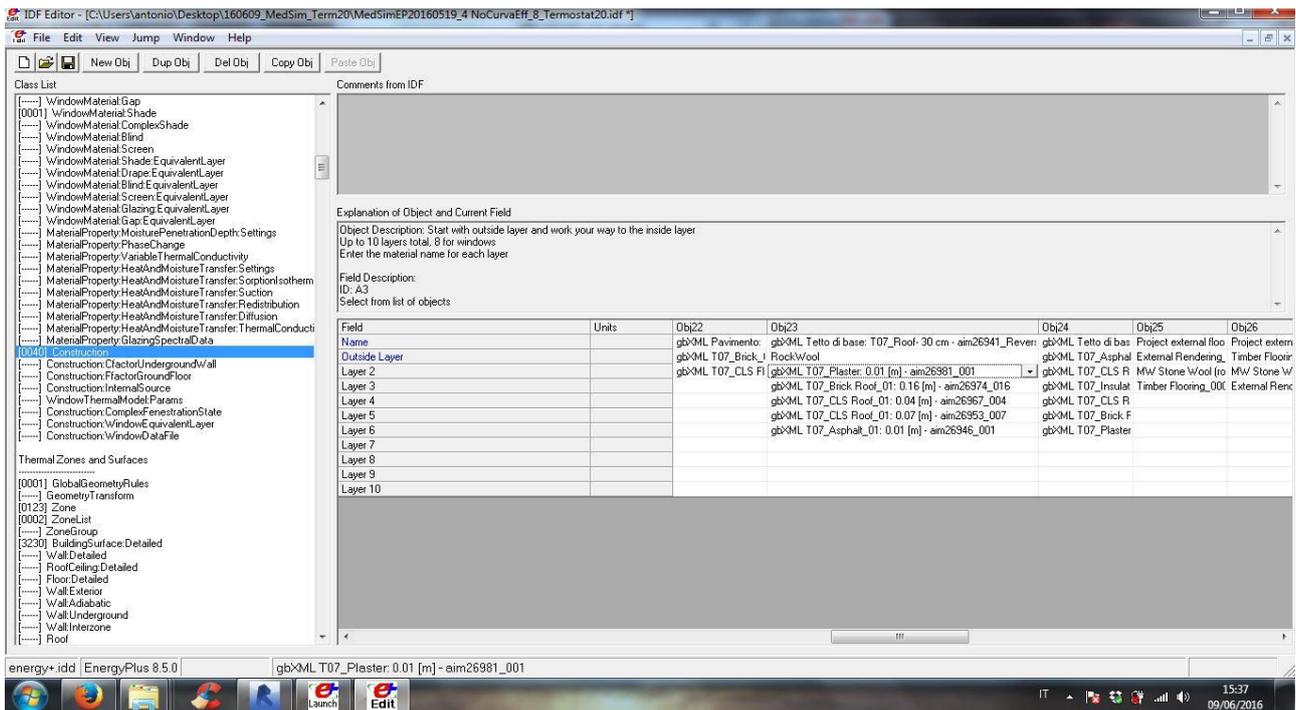


Fig. 62: Impostazioni per lo scenario per il tetto.

Nella fase della validazione, l'edificio presentava un involucro esterno con trasmittanza pari a 1,23 W/m² k. Anche in questo caso la normativa UNI EN ISO 6946:2008 ci viene in aiuto; evidenziando la trasmittanza con valore minore o uguale a 0,33 W/m² k.

Con l'ipotesi della ristrutturazione a cappotto, la trasmittanza si riduce fino a 0,33 W/m² k.

Total monthly simulated energy consumption

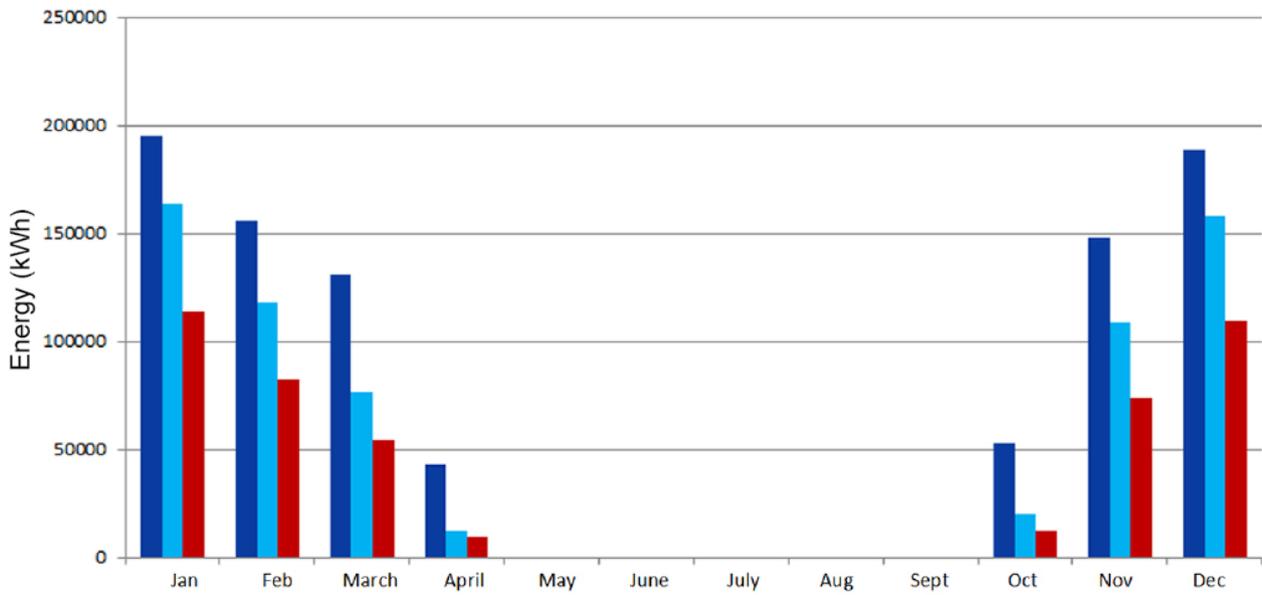


Fig. 63: Simulazione dei consumi di energia mensili distribuiti in un anno per lo scenario 2.

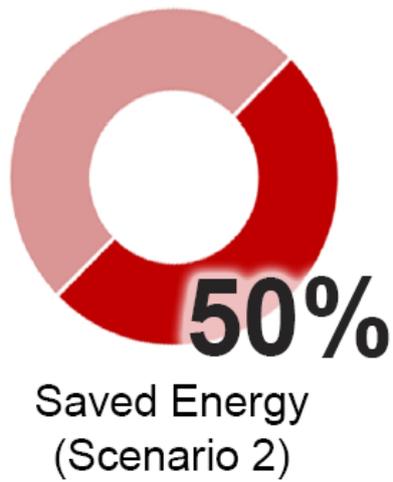


Fig. 64: Percentuale di risparmio di energia relativo allo scenario 2.

9.2.3 Scenario 3: peak shaving con termostato

Per peak shaving, si intende una drastica riduzione della domanda di picco, per cui si ha una riduzione del carico, rapidamente e per un breve periodo di tempo per evitare un picco di consumo. Ciò è possibile riducendo temporaneamente la domanda pur mantenendo sempre le condizioni di confort interne. È possibile rilevare in modo affidabile la fonte di un improvviso aumento del carico monitorando il consumo di energia. A seconda dell'operatore di rete, questi picchi vengono utilizzati per calcolare le tariffe di utilizzo della rete valutate per determinati consumatori di energia. La rasatura dei picchi ha senso perché evitare i picchi di carico e mantenere bassi i costi di utilizzo della rete. Nel nostro caso il peak shaving è stato adottato per evitare il picco di richiesta del mattino che è un problema per la rete di teleriscaldamento.

Nel nostro caso studio è stato applicato un anticipo dell'accensione di un'ora ed impostato il termostato gradualmente, non richiedendo subito 20°C, ma è stato impostato nella notte a 16°C e con accensione alle 05:00 17°C, alle 07:00 18°C, alle 08:00 a 20°C.

Quindi questo ragionamento ci permette di avere il grafico a scaletta ed avere una programmazione più graduale anticipando di un'ora l'accensione.

Questo tipo di controllo è stato impostato a livello di centralina del teleriscaldamento dello scambiatore del teleriscaldamento dell'edificio. Abbiamo ipotizzato di poter comandare la richiesta siamo andati ad agire direttamente sullo scambiatore.

Nei grafici che seguono, sono raffigurati e raggruppati gli andamenti delle simulazioni energetiche sulla domanda di energia relativi allo scenario nel quale sono state portate le ipotesi ed il modello validato.

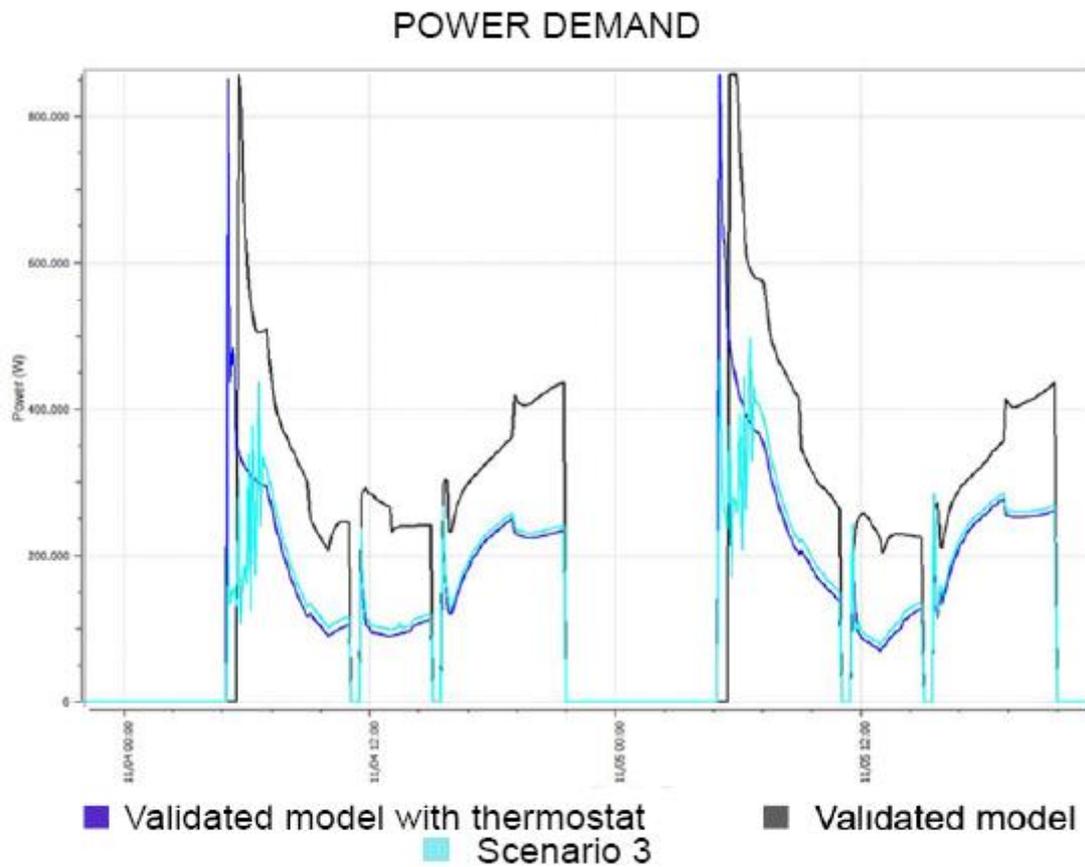


Figura 65: Grafico della richiesta di energia fra i vari modelli.

Total monthly simulated energy consumption

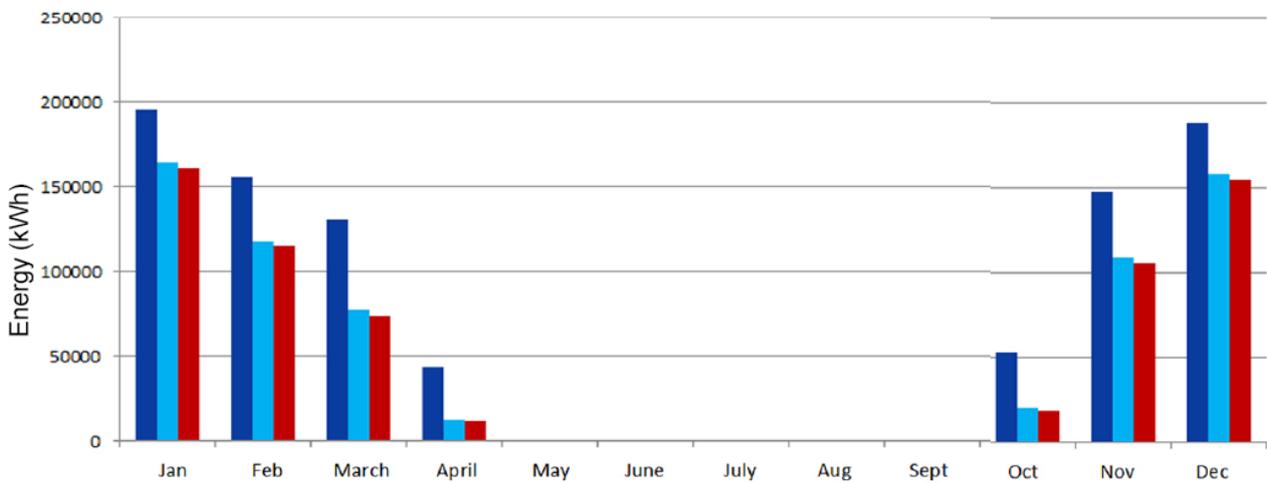


Fig. 66: Simulazione dei consumi di energia mensili distribuiti in un anno per il peak shaving.

Dal precedente grafico possiamo dedurre che:

- in blu vi sono i risultati del modello validato. Quindi abbiamo lo stesso valore che abbiamo avuto per le due ipotesi di scenario precedenti, cioè 916 MWh/annuo;
- in ciano sono riportati i risultati dei dati relativi al modello validato ma con l'aggiunta del termostato per il controllo dei consumi. In questo caso abbiamo una riduzione drastica dei consumi ma il valore complessivo di consumo annuo è pari a 660 MWh/annuo;
- in rosso, infine, sono riportati i dati relativi all'ipotesi di scenario o ristrutturazione del peak shaving. Si nota che i consumi annui sono inferiori al modello validato col termostato, ma non si discostano di molto. Effettivamente il valore complessivo di consumo annuo è pari a 642 MWh/annuo.

Infine possiamo dire che investendo di un migliore controllo della centralina di controllo della sottostazione del teleriscaldamento si ottiene un risparmio di energia sviluppata in un anno pari al:

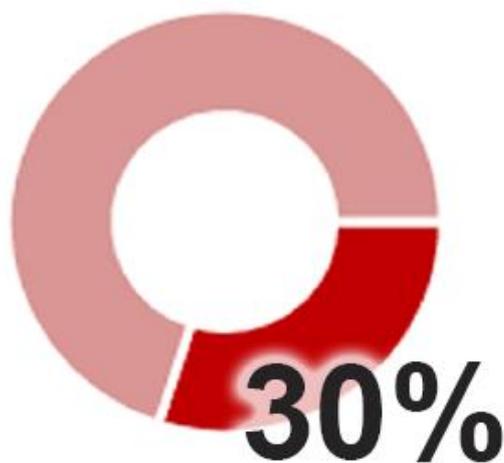


Fig. 67: Percentuale di risparmio di energia relativo al peak shaving.

10 Risparmio energetico ed analisi dei costi sugli ipotetici scenari

In quest'ultimo capitolo, verrà esposto l'ipotesi del ritorno economico dell'investimento relativo alle ipotesi di ristrutturazione degli scenari 1 e 2 analizzati nel precedente capitolo.

- Analizzando il primo scenario relativo alle superfici trasparenti, le finestre, utilizzando l'abaco delle finestre ricavato dal software Revit, si ottengono molte informazioni, ad esempio, il numero totale delle finestre che è pari a 576 per un totale di 967,34 m² di superficie trasparente in tutto l'edificio.

Costs

	Count	Area (m ²)	€/m2 - €/cad	Tot Manufacturing Operations Cost (€)	Subtot (€)
Thermostat	576		70,00		40.320,00
Windows		967,34	400,00	386.936,00	



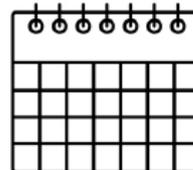
Total Costs refurbishment
427.256,00 €



Saved fuel costs
35.050,60 €



Saved CO₂
40.560 kg CO₂



ROI years
12,2



NPV [15 years]
-22.766,99€



Saved kWh/€
0,79

Fig. 68: Resoconto dell'analisi economica relativo allo scenario 1.

L'immagine precedente evidenzia quali siano i vantaggi se si investisse del denaro nell'ipotesi di ristrutturazione delle finestre. Per un totale dei costi pari a 427.256,00 € per un ritorno dell'investimento ipotizzato in 12,2 anni.

Inoltre, focalizzando l'attenzione sulle persone che andranno a vivere all'interno, si otterranno dei miglioramenti sulla qualità dell'aria con un abbassamento della CO2 pari a 40.560 kg annui ed un risparmio economico sull'impianto di riscaldamento e/o raffrescamento pari a 35.050,60 €. In aggiunta, vi è un risparmio energetico pari a 0,79 kWh/€.

- Passando al secondo scenario ipotizzato, riguardante la struttura opaca, si è applicato il medesimo metodo di analisi dell'ipotesi dello scenario 1.

Attraverso l'uso di Autodesk Revit è stato facile reperire tutti i dati utili per iniziare la fase di studio. Per l'analisi occorre conoscere la superficie opaca totale, comprendente i muri verticali e la superficie dei tetti. I muri hanno una superficie totale pari a 7.449,91 m² ed i tetti avevano rispettivamente 1.464,70 m². Recuperati i dati, è stato possibile avviare le analisi.

Costs

	Count	Area (m ²)	€/m2 - €/cad	Tot Manufacturing Operations Cost (€)	Amministrative cost (€)	Design 9%	Subtot Design (€)	Scaffold Cost (€/m2)	Subtot scaffold (€)	Subtot general(€)
Thermostat	576		70,00							40.320,00
Walls		7.449,91	80,00	595.992,80	1500,00	0,09	53.639,35	13,00	96.848,83	747.980,98
Roofs		1.464,70	140,00	205.058,00	0	0,09	18.455,22	0	0	223.513,22



Total Costs refurbishment

985.494,20 €



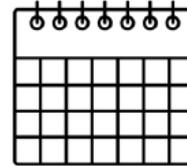
Saved fuel costs

47.598,30 €



Saved CO₂

55.080 kg CO₂



ROI years

20,7



NPV [15 years]

- 422.497,61 €



Saved kWh/€

0,47

Fig. 69: Resoconto dell'analisi economica relativo allo scenario 2.

In questo caso, si può vedere come il costo della ristrutturazione delle superfici opache ipotizzata risulti molto più elevata rispetto alla ipotetica ristrutturazione con lo scenario 1 con un importo ipotetico pari a 985.494,20 €. In questo caso invece, il ritorno dell'investimento dell'opera risulta essere pari a 20,7 anni.

- In quest'ultima ipotesi, è stata ipotizzata un'analisi costi attribuita al peak shaving.

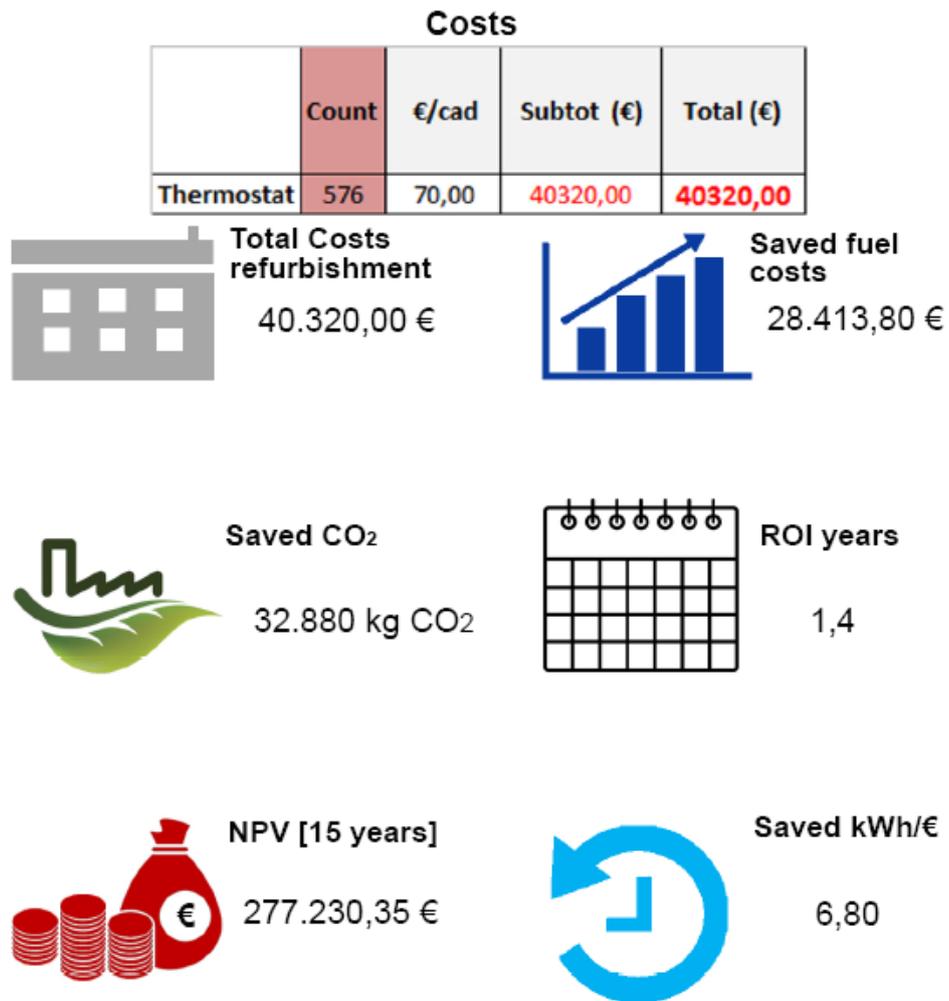


Fig. 70: Resoconto dell'analisi economica relativo al peak shaving.

Si può dedurre che il costo della ristrutturazione per questa ipotesi è pari a 40.320,00 € in un tempo di ritorno dell'investimento pari a 1,4 anni. Mentre dando un'occhiata su quanto denaro si risparmia sul combustibile in un anno è pari a 28.413,80 €.

11 Conclusioni

Giunti al termine dell'esposizione della presente tesi si può concludere che attraverso l'utilizzo del metodo DIM è stato possibile analizzare un edificio residenziale e valutare l'aspetto energetico ed economico.

Tale metodo di lavoro è stato applicato a tutti i casi studio analizzati all'interno del distretto di Torino ed il distretto di Manchester; anche se ogni caso studio ha presentato dei problemi differenti. Nella metodologia di studio è stato analizzato:

- Un modello BIM che potesse essere più idoneo per le varie fasi del processo tralasciando quelle parti che non sono dispensabili per il processo, come per esempio le ringhiere ed arredi;
- La possibilità di poter elaborare dei dati con diversi software o più semplicemente l'interoperabilità fra i vari software;
- Poter effettuare delle simulazioni energetiche, sia sull'edificio reale attraverso dei sensori che registrano in tempo reale i vari dati, sia sul modello BIM per analizzare i consumi energetici;
- Delle ipotesi di ristrutturazione, degli scenari, con le relative simulazioni energetiche per, infine, confrontare i consumi energetici fra i consumi reale e quelli ipotizzati;
- I costi delle varie ipotesi di ristrutturazioni.

Nel complesso il lavoro è stato lungo ma interessante. Vi sono stati delle criticità sulla modellazione del modello BIM per renderlo idoneo per la fase di simulazione. Inoltre vi sono stati dei punti critici sull'interoperabilità fra i vari software nel quale il modello esportato dava degli errori di importazione; uno di questi software è stato DesignBuilder.

L'ultima fase è stata effettuata con EnergyPlus. Questa fase è stata realizzata con integrazione di altre figure professionali del Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino, i quali hanno impostato i vari dati di input per poi procedere con le simulazioni energetiche.

Il lavoro effettuato in questa tesi è risultato molto interessante ed interattivo, attraverso l'uso e la conoscenza di vari software. È possibile analizzare un singolo modello in diversi modi e con diverse figure professionali.

Negli ultimi anni, anche la normativa ha introdotto delle norme sull'uso del DIM per ogni progetto, ma l'aspetto più importante nell'ultimo periodo è quello sul risparmio energetico e quindi sull'investimento di materiali, aspetti tecnologici, ma anche sulla qualità dell'aria di un ambiente. Oggi vi sono dei modelli abitativi nei quali, attraverso delle centraline online, vengono trasmessi in tempo reale all'impianto di riscaldamento e/o raffrescamento la potenza necessaria affinché all'interno dell'ambiente un individuo si trovi nella sensazione di "comfort". Tali dati possono essere monitorati dall'utente stesso.

La presente tesi può essere il punto di partenza per una serie di analisi quali, l'integrazione fra diversi metodi di lavoro e la possibilità di rendere la fase di simulazione energetica più semplice e intuitiva.

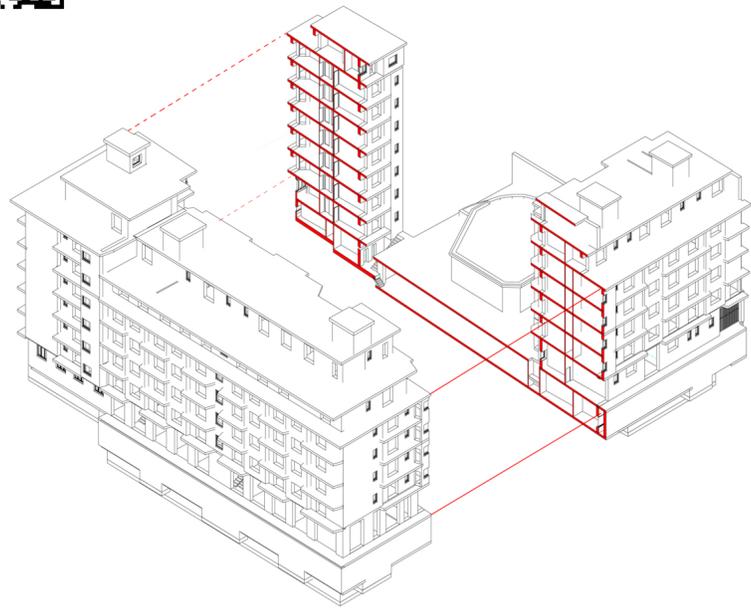
12 Allegati

13 Bibliografia

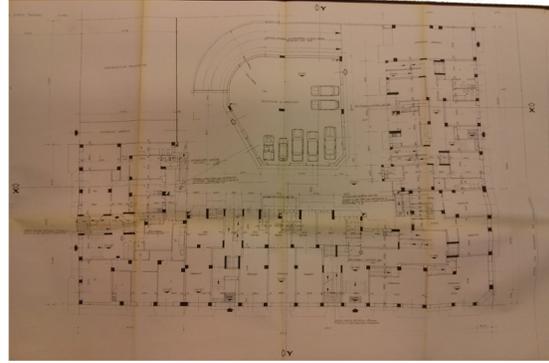
- [1] M. D. Giudice, «Slideshare,» Politecnico di Torino, 2013-2016. [Online]. Available: https://www.slideshare.net/arc_lasalle/matteo-del-giudice-politecnico-di-torino-italy. [Consultato il giorno 4 Febbraio 2019].
- [2] A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Torino: Dario Flaccovio Editore, 2012.
- [3] A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Torino: Dario Flaccovio Editore, 2012.
- [4] A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, 2012.
- [5] C. Volpe, Wordpress.com, 04 Marzo 2016. [Online]. Available: <https://carminevolpe.wordpress.com/2016/03/04/il-bim-ed-il-cantiere/>. [Consultato il giorno 17 Settembre 2019].
- [6] A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Torino: Dario Flaccovio Editore, 2012.
- [7] A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Torino: Dario Flaccovio Editore, 2012.
- [8] A. Rabbini, «Archivio Storico di Torino,» Incisione di Vittorio Angeli, 1878. [Online]. Available: <http://www.museotorino.it/view/s/31b8c6c953694b89894ef167c1c39429>. [Consultato il giorno 17 Settembre 2019].
- [9] R. Antonio, «Museo Torino,» Archivio Storico di Torino, 1896. [Online]. Available: <http://www.museotorino.it/view/s/04d862886bc44ef9b98ecd6285a8f99f>. [Consultato il giorno 17 Settembre 2019].
- [10] A. S. d. Torino, «Pianta e dintorni di Torino nel 1911,» Archivio Storico di Torino, 1911. [Online]. Available: <http://www.museotorino.it/view/s/0f77d4268ed74136adb163df6e177e28>. [Consultato il giorno 17 Settembre 2019].
- [11] S. Borioli, «Pianta di Torino coll'indicazione dei due Piani Regulatori e di Ampliamento rispettivamente delle zone e piana e collinare.,» Archivio Storico di Torino, 1915. [Online]. Available: <http://www.museotorino.it/view/s/a1b4668b6ab94320bfb3799b1b80d425>. [Consultato il giorno 17 Settembre 2019].
- [12] A. S. d. Torino, «Danni recati agli edifici dopo i bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale nei quartieri della zona 2: San Salvario, Crocetta, Parco del Valentino, Borgo San Secondo, Vecchia barriera di Nizza.,» Archivio Storico di Torino, 1942-1945. [Online].

Available: <http://www.museotorino.it/site/exhibitions/history/room/23/gallery>. [Consultato il giorno 17 Settembre 2019].

[13] A. B. Luigi, *Edificio Residenziale*, Torino: Archivio Edilizio di Torino, 1968.



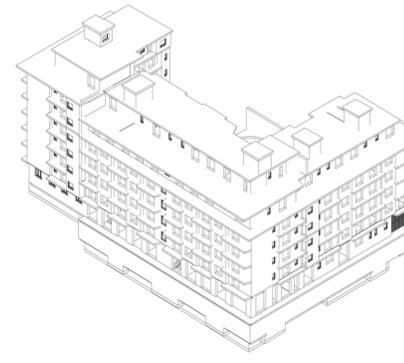
Historic Archive_Ground Floor Plan



Historic Archive_Elevation SOUTH



BIM Model



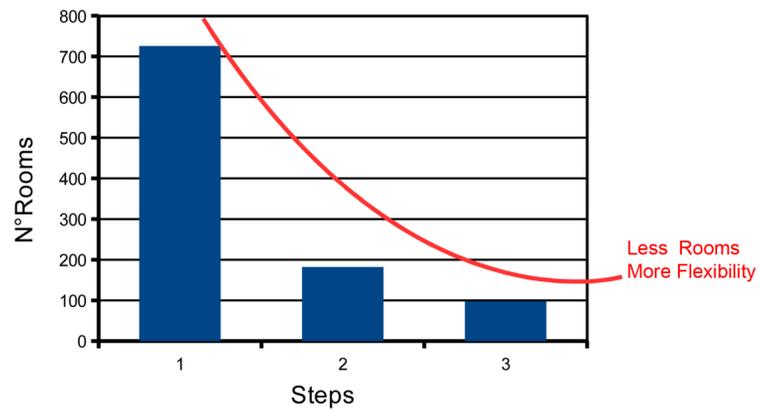
Energy Model Export Process



EAM Model



ROOM MANAGEMENT TREND

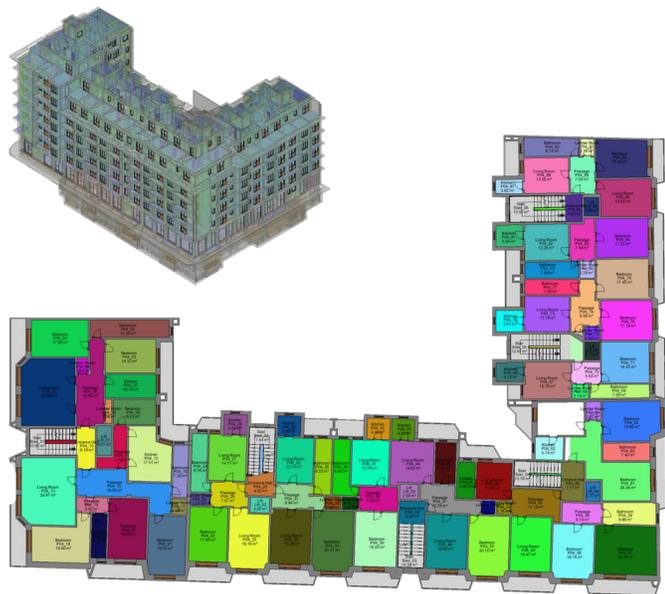


General Information MACII'S FLAT

Heirs property Pelassa Turin.
Project of a residential building, shops, garage, in Turin c.so Mediterraneo, via Colombo, via G. da Verrazzano.
You can refer to the project N° X-4-2 P # 5/64.
HOUSE MACII is located on the sixth floor, it has a area of 162.3 m², a volume of 441.2 m³.
The apartment is oriented to SOUTH_WEST.

ENERGY DEVELOPMENT MODEL BUILDING

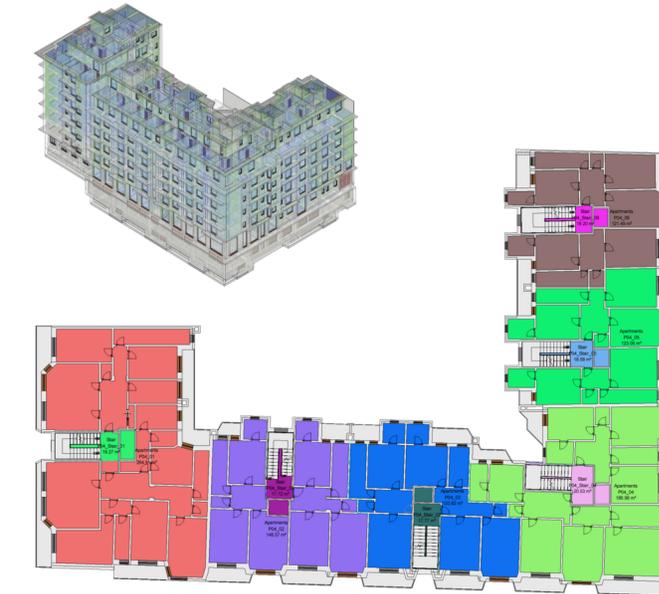
STEP 1: 726 Rooms



STEP 2: 162 Rooms



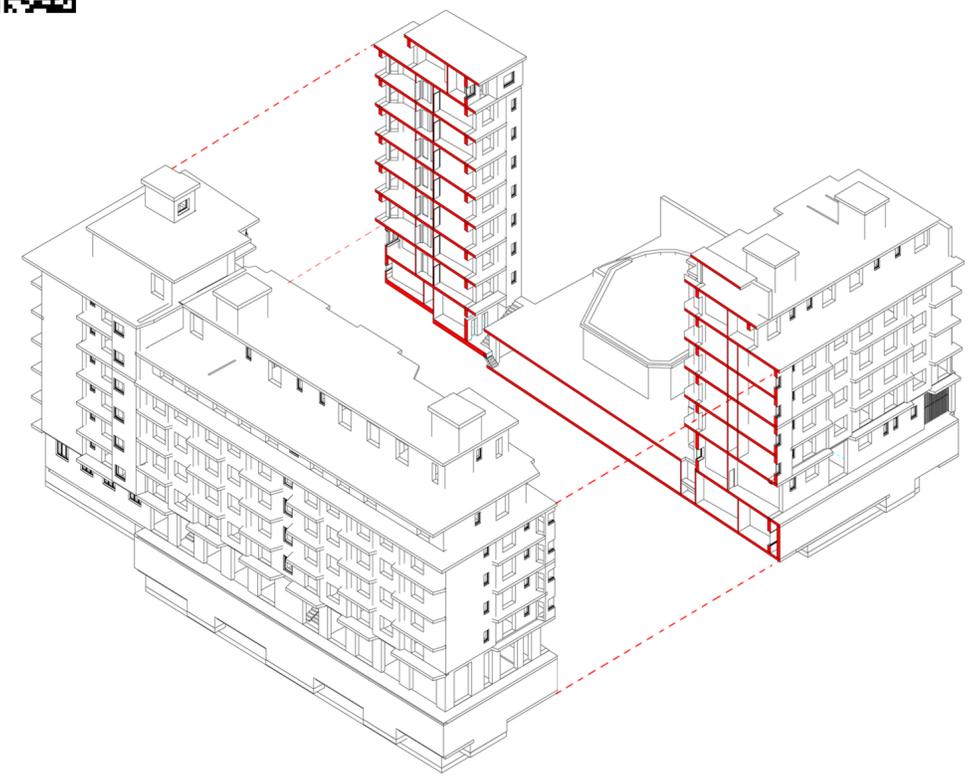
STEP 3: 97 Rooms



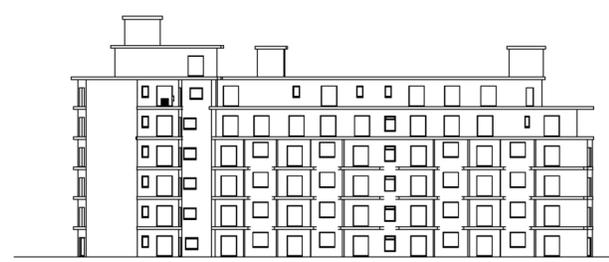
BIM USE FOR DIM

NAME	Condominium Mediterraneo
LOCATION	130, Corso Mediterraneo
ORIENTATION	Facing South West
CONSTRUCTION PERIOD	1961-1970
BUILDING USE	Residential
TOTAL AREA	5974
HEATING SUPPLY	District heating network
ELECTRICITY SUPPLY	Grid Electricity
RENEWABLE ENERGY	0,0
CONSTRUCTION TYPE	Reinforced concrete, flat asphalt roof
OCCUPANCY NUMBER	00:00 - 24:00





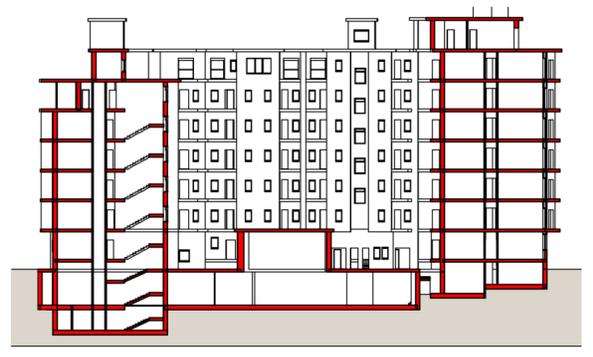
SOUTH ELEVATION



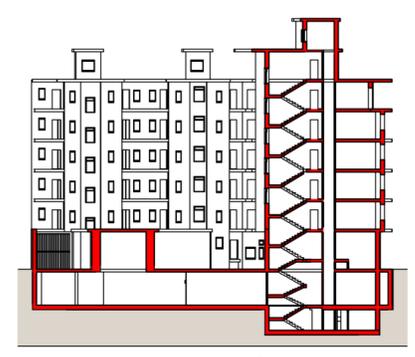
WEST ELEVATION



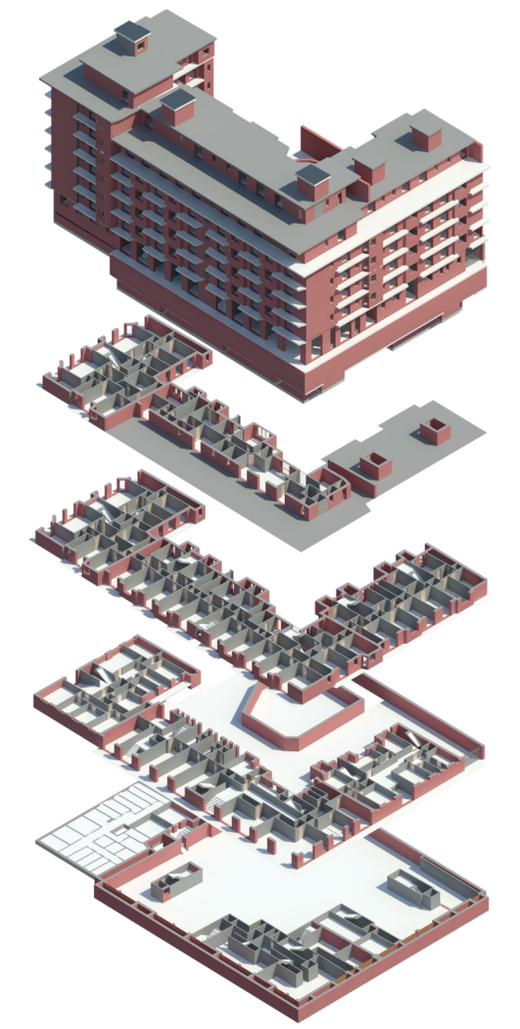
SECTION - AA'



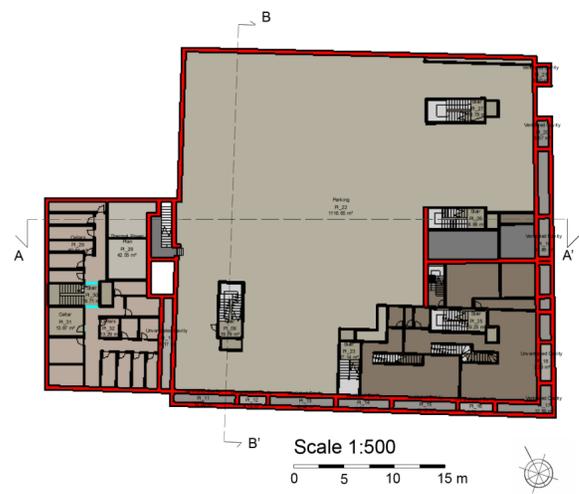
SECTION - BB'



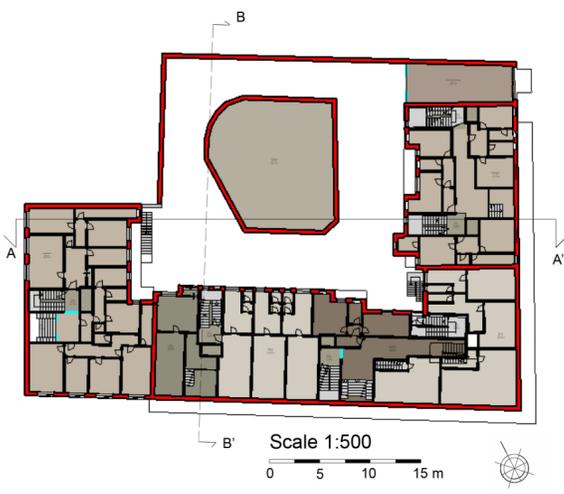
Scale 1:500
0 5 10 15 m



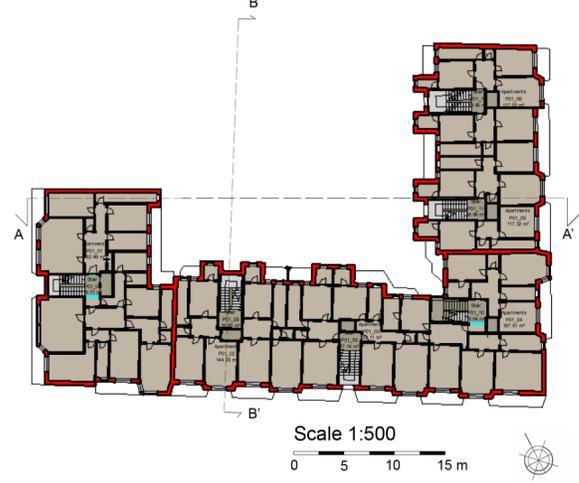
BASEMENT FLOOR



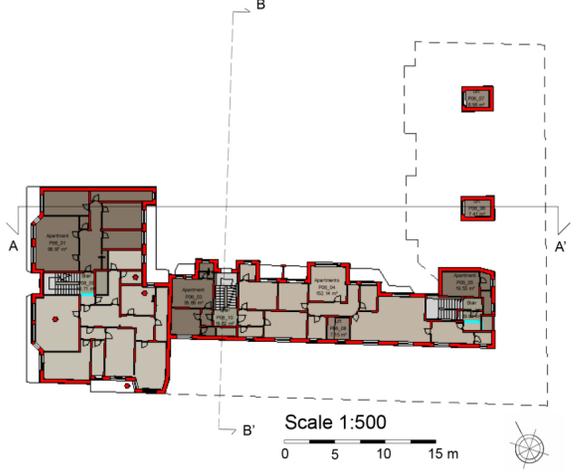
GROUND FLOOR



FIRST FLOOR

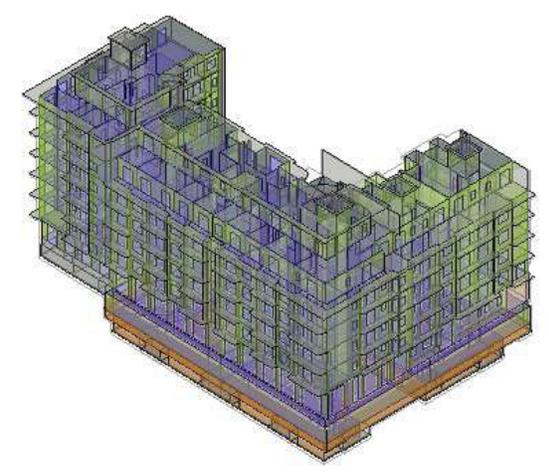


SIXTH FLOOR

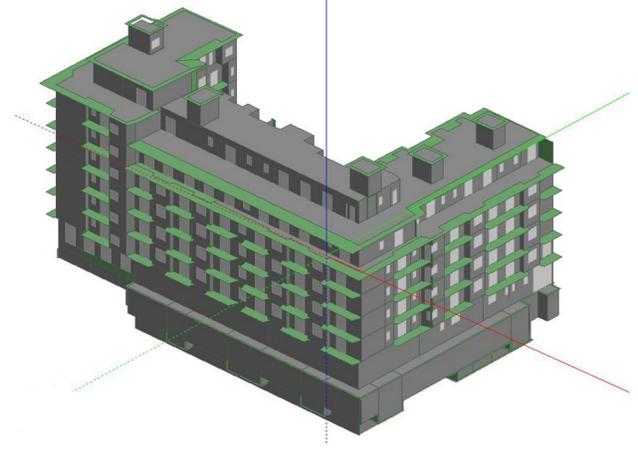


- Apartment
- Apartments
- Cellar
- Cellars
- Entrance Driveway
- Lift
- Maci's Flat
- Parking
- Stair
- Store
- Stores
- Thermal Power Plan
- Unventilated Cavity
- Ventilated Cavity
- Warehouse

ENERGY MODEL



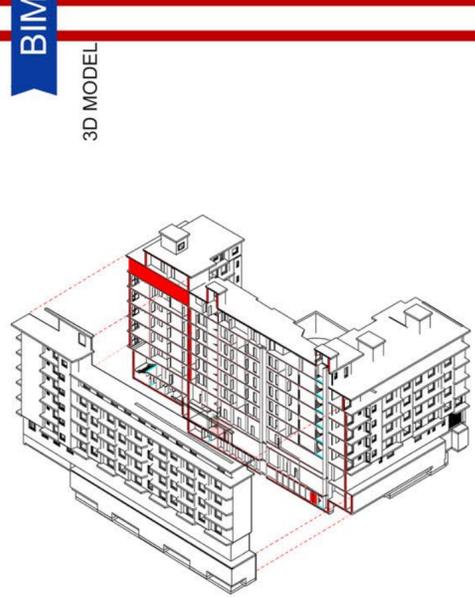
DESIGN BUILDER VIEWER



BIM USE FOR DIM

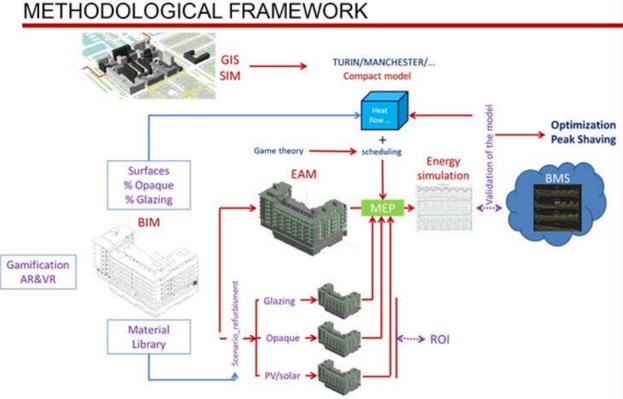
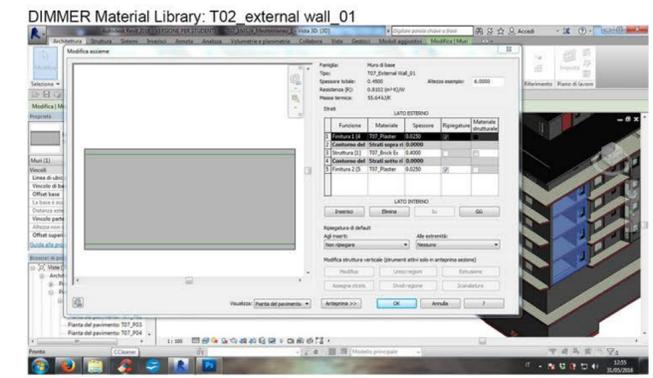
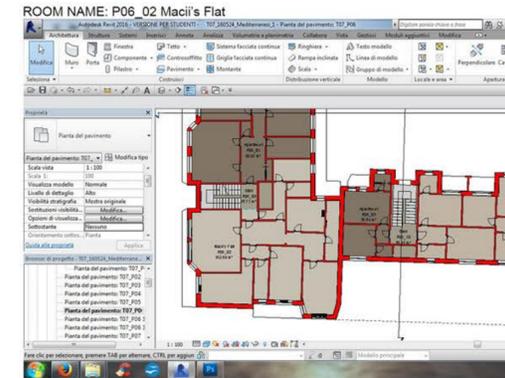
NAME	Condominium Mediterraneo
LOCATION	130, Corso Mediterraneo
ORIENTATION	Facing South West
CONSTRUCTION PERIOD	1961-1970
BUILDING USE	Residential
TOTAL AREA	5974
HEATING SUPPLY	District heating network
ELECTRICITY SUPPLY	Grid Electricity
RENEWABLE ENERGY	0,0
CONSTRUCTION TYPE	Reinforced concrete, flat asphalt roof
OCCUPANCY NUMBER	00:00 - 24:00



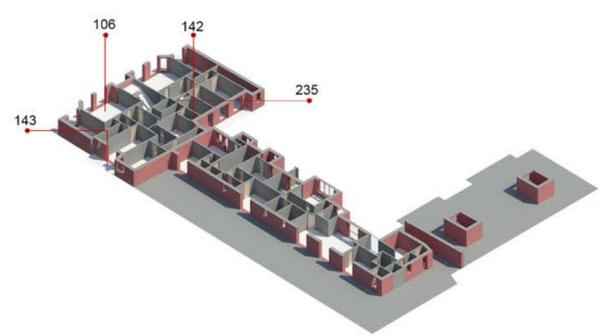


OPAQUE SURFACES = 15,8% TRANSPARENT SURFACES = 84,2%

ROOM NAME	% SURFACES	MATERIAL LIBRARY
62 h	4 h	1 h
3 h		

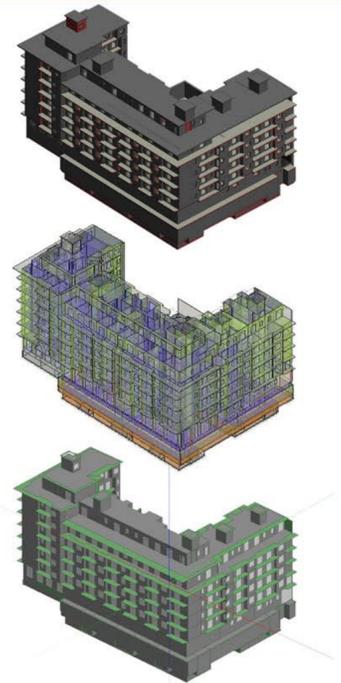


SENSORS



- Sensore n.106 ----- Sixty Floor, Living Room
- Sensore n.142 ----- Sixty Floor, Kitchen
- Sensore n.143 ----- Sixty Floor, Outside (Balcony)
- Sensore n.235 ----- Sixty Floor, Bedroom

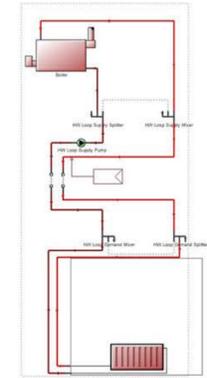
EAM



Resulting EAM accuracy & precision

EAM Components	BIM	EAM	Difference
Spaces – Floor area (m²)	10682,81	4194,29	-0,61
Spaces – Volume (m³)	28220,45	14644,51	-0,48
Surfaces – Roof (m²)	1680,93	457,8	-0,73
Surfaces – Exterior walls (m²)	7449,91	4664,79	-0,37
Surfaces – Interior walls (m²)	11658,8	2162,33	-0,81
Surfaces – Interior floors (m²)	8885,47	3033,99	-0,66
Surfaces – Underground wall (m²)	3556,62	1427,66	-0,60
Surfaces – Basement (m²)	2362,36	1377,56	-0,42
Surfaces – Windows (m²)	967,34	950,59	-0,02
Average Difference			-0,59

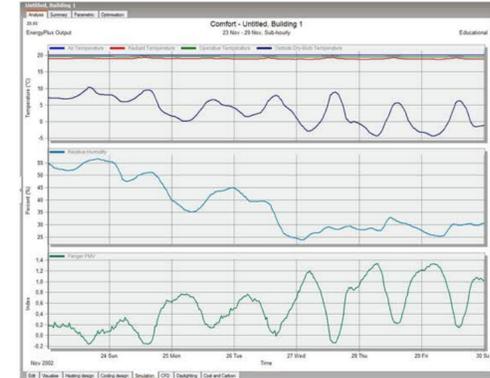
Heating Supply: District heating



Energy Demand Schedule

Schedule: Compact
On
Any Number.
Through: 12/31.
For: Weekdays.
Until: 00:00, 00.
Until: 05:30, 80.
Until: 06:00, 80.
Until: 07:00, 80.
Until: 08:00, 80.
Until: 09:00, 70.
Until: 10:00, 70.
Until: 11:00, 00.
Until: 12:00, 70.
Until: 13:00, 70.
Until: 14:00, 60.
Until: 15:00, 60.
Until: 16:00, 00.
Until: 17:00, 80.
Until: 18:00, 60.
Until: 22:00, 60.
Until: 23:00, 00.
Until: 24:00, 00.
For: Weekends.
Until: 24:00, 00.

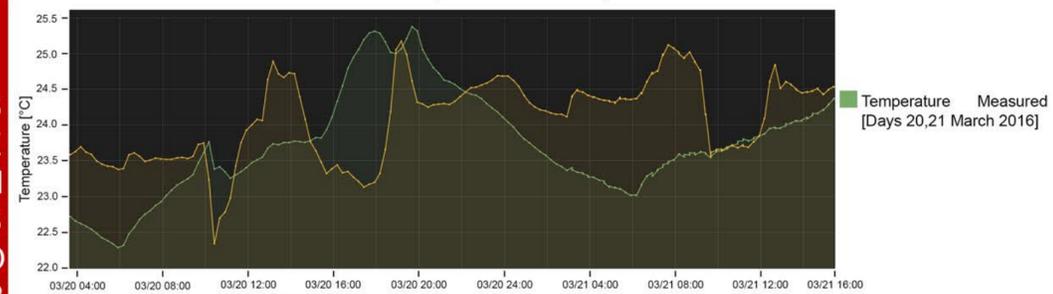
Simulated Data



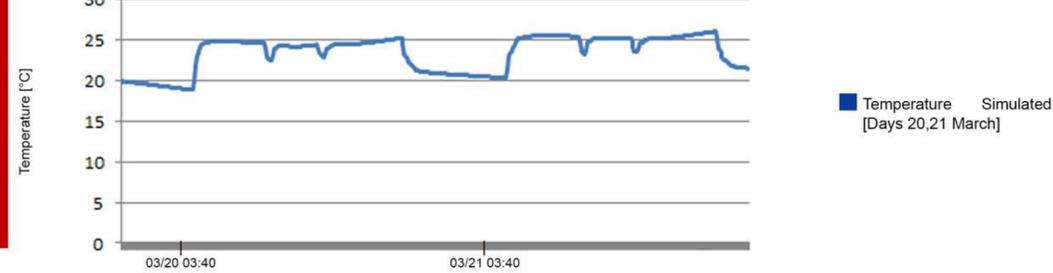
STATE OF ART

NAME	Condominium Mediterraneo
LOCATION	130, Corso Mediterraneo
ORIENTATION	Facing South West
CONSTRUCTION PERIOD	1961-1970
BUILDING USE	Residential
TOTAL AREA	5974
HEATING SUPPLY	District heating network
ELECTRICITY SUPPLY	Grid Electricity
RENEWABLE ENERGY	0,0
CONSTRUCTION TYPE	Reinforced concrete, flat asphalt roof
OCCUPANCY NUMBER	00:00 - 24:00

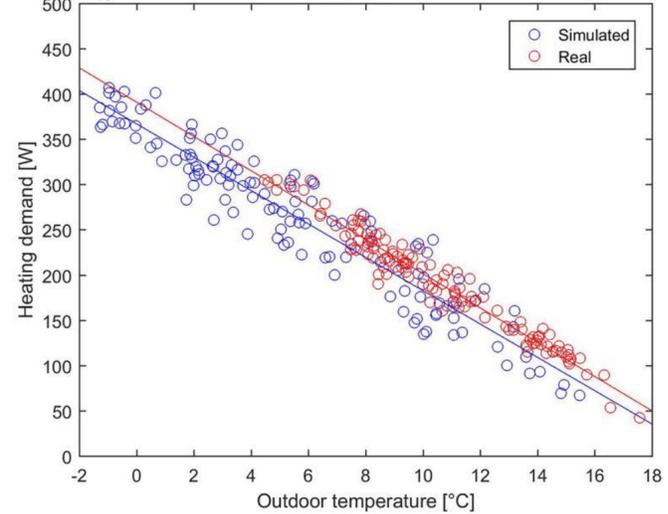
MONITORED DATA (GRAFANA viewer)



SIMULATED TEMPERATURE (reference days: 15,16,17/11/15 - 23,24,25/11/15)



ENERGY SIGNATURE



BMS

MONITORED DATA

VALIDATION TREND

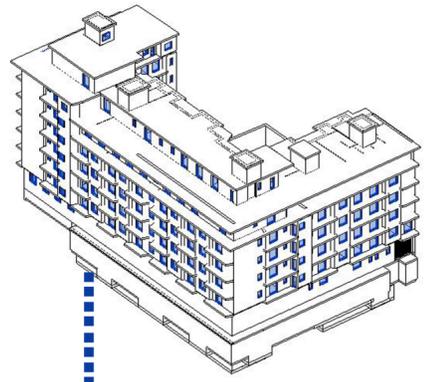
633 MWh/year
for 1684 degree days

895 MWh/year
for 2873 degree days



SCENARIO 1

STRATEGY: TRANSPARENT SURFACES



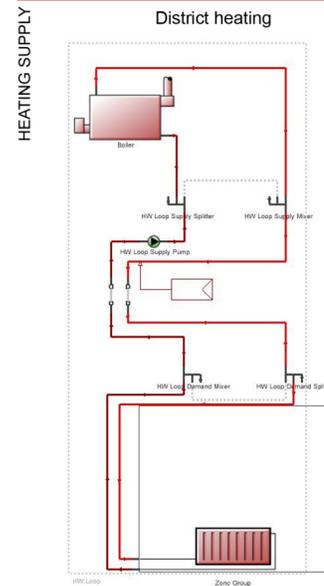
U transparent surfaces after refurbishment = 1,99 W/m²K
 U transparent surfaces before refurbishment = 5,52 W/m²K

22 h

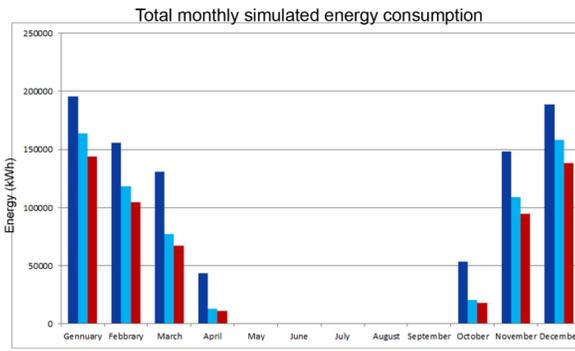
14 h

28 h

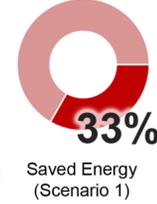
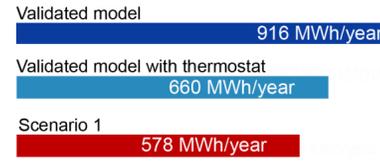
84 h



SIMULATION RESULTS COMPARISON

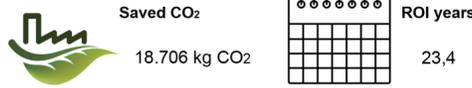


Total annual simulated energy consumption

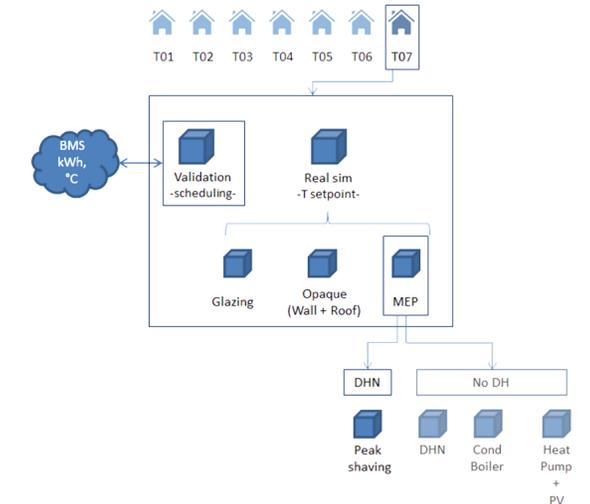


RETURN OF INVESTMENT

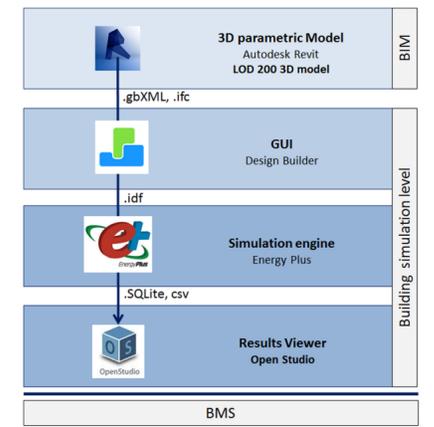
	Count	Area (m²)	€/m² - €/cad	Tot Manufacturing Operations Cost (€)	Subtot (€)
Thermostat	576		70,00	386.936,00	40.320,00
Windows	967,34	400,00			



METHODOLOGICAL FRAMEWORK

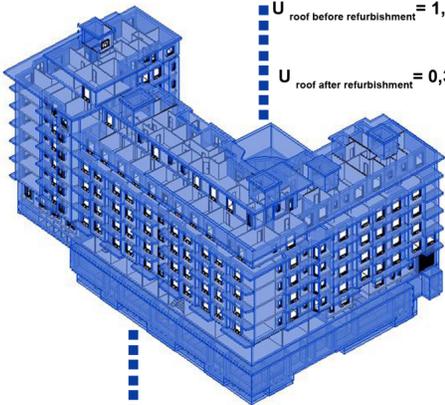


SOFTWARE



SCENARIO 2

STRATEGY: OPAQUE SURFACES



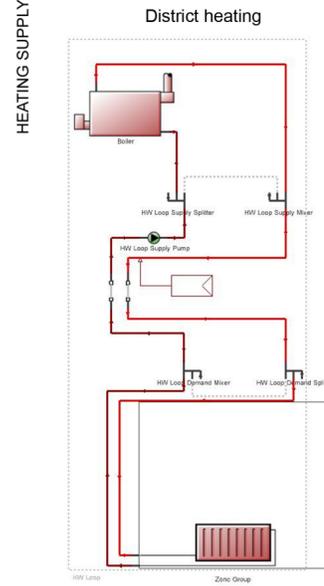
U roof before refurbishment = 1,13 W/m²K
 U roof after refurbishment = 0,30 W/m²K
 U external walls after refurbishment = 0,33 W/m²K
 U external walls before refurbishment = 1,23 W/m²K

22 h

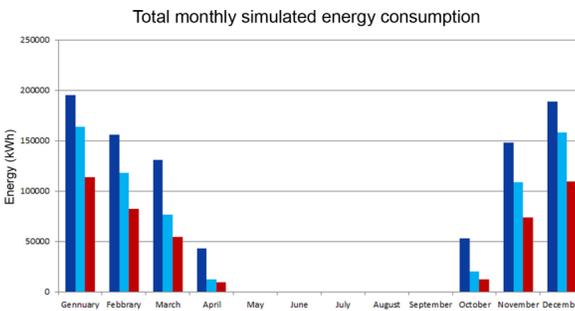
14 h

28 h

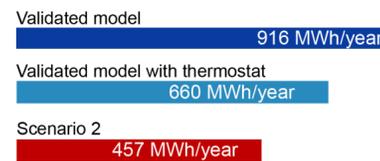
84 h



SIMULATION RESULTS COMPARISON

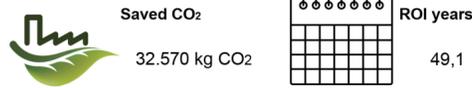


Total annual simulated energy consumption



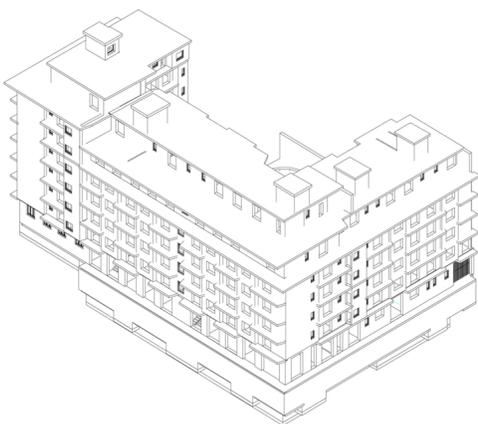
RETURN OF INVESTMENT

	Count	Area (m²)	€/m² - €/cad	Tot Manufacturing Operations Cost (€)	Administrative cost (€)	Design 9%	Subtot Design (€)	Scaffold Cost (€/m²)	Subtot scaffold (€)	Subtot general (€)
Thermostat	300,00		70,00							14.000,00
Walls	9.586,60	80,00	790.928,00	1500,00	0,09	71.183,52	13,00	128.525,80	992.137,32	
Roofs	2.457,70	140,00	344.078,00		0	30.967,02	0		375.045,02	



SCENARIO 3

STRATEGY: PEAK SHAVING

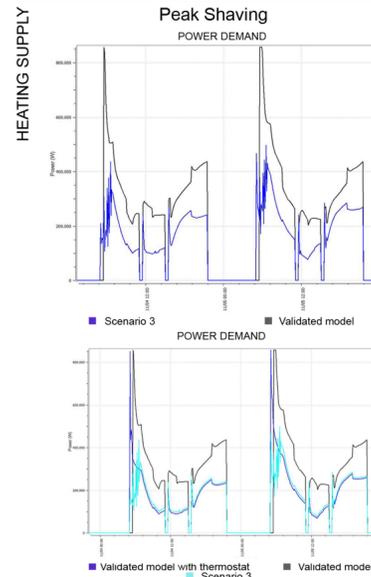


22 h

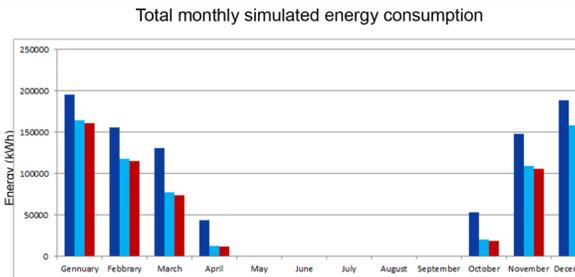
14 h

28 h

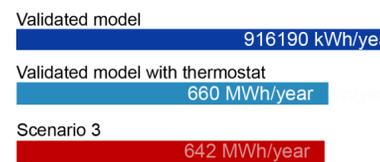
84 h



SIMULATION RESULTS COMPARISON

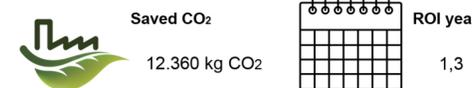


Total annual simulated energy consumption



RETURN OF INVESTMENT

	Count	€/cad	Subtot (€)
Thermostat	200,00	70,00	14.000,00



POTENTIAL EFFICIENCY

NAME	Condominium Mediterraneo
LOCATION	130, Corso Mediterraneo
ORIENTATION	Facing South West
CONSTRUCTION PERIOD	1961-1970
BUILDING USE	Residential
TOTAL AREA	5974
HEATING SUPPLY	District heating network
ELECTRICITY SUPPLY	Grid Electricity
RENEWABLE ENERGY	0,0
CONSTRUCTION TYPE	Reinforced concrete, flat asphalt roof
OCCUPANCY NUMBER	00:00 - 24:00

