

Analisi energetica dinamica e interoperabilità, dal BIM al BEM

*Studio di un edificio residenziale nella
periferia Sud di Torino.*

Analisi energetica dinamica e interoperabilità, dal BIM al BEM

Studio di un edificio residenziale nella periferia Sud di Torino.



*Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il progetto sostenibile*

Dario Cammardella

Relatore

Prof.ssa Ilaria Ballarini

Correlatore

Ing. Matteo Del Giudice

Dicembre **2019**

*A chi, senza saperlo,
mi ha aiutato a finire questo lavoro.*

Abstract

Più di due terzi della popolazione europea vive in città. Gli effetti delle scelte insediative rimbombano negli anni; così come noi entriamo in contatto con le conseguenze, positive e negative, degli interventi passati, anche i futuri abitanti delle città si relazioneranno con le nostre. In Italia la quantità degli edifici prodotti dal secondo dopoguerra agli anni '80 rappresenta il 50% del patrimonio edilizio. In media ognuno di essi consuma più del doppio di uno di nuova costruzione.

Il lavoro nasce dal proposito di un'analisi energetica di un edificio della tipologia più diffusa, quella residenziale. In vista dell'imminente aggiornamento delle norme che regolano il calcolo del fabbisogno di energia del sistema edificio, si propone uno studio che indaghi l'efficacia del nuovo metodo di calcolo orario semplificato introdotto dalla UNI EN ISO 52016. In particolare, si confronteranno i risultati ottenuti da due software differenti, basati uno sulle nuove norme e l'altro sul motore di calcolo sviluppato dal US Department of Energy, Energy Plus. Le simulazioni, volte ad ottenere in fabbisogno energetico netto invernale del caso studio, saranno condotte attraverso una modellazione BIM-based dell'edificio (Autodesk Revit), analizzandone quindi il livello di interoperabilità nello scambio di informazioni fra questo e i software che conterranno il modello BEM.

Quest'ultimo aspetto è finalizzato ad offrire al professionista un supporto che gli permetta di realizzare una rapida ed efficace analisi energetica.

Basandosi sui risultati del fabbisogno netto ottenuti, la tesi ha il duplice obiettivo di porre le basi per la validazione del nuovo modello di calcolo orario semplificato e parallelamente evidenziare le criticità legate all'esportazione di un modello con due formati differenti, gbXML e IFC, importati in due software di simulazione differenti, Design Builder e EC700. L'analisi è condotta utilizzando come caso studio un edificio di edilizia residenziale pubblica della periferia Sud di Torino.

Indice

1. Introduzione

| | | |
|------------|--|----|
| 1.1 | <i>Il Peso della Città</i> | 12 |
| | La crescita | |
| | Il consumo | |
| | La città italiana | |
| 1.2 | <i>Progettazione integrata</i> | 24 |
| | I vantaggi del BIModelling | |
| 1.3 | <i>Simulazione energetica</i> | 28 |
| | Direttive europee e legislazione nazionale | |
| 1.4 | <i>Obiettivi e organizzazione del lavoro</i> | 34 |

2. Modelli di analisi e calcolo energetico

| | | |
|------------|--|----|
| 2.1 | <i>Metodologia</i> | 38 |
| 2.2 | <i>Il modello architettonico. BIM</i> | 41 |
| | Simulazione e condivisione del BIModel | |
| 2.3 | <i>Il modello di analisi energetica. EAM</i> | 50 |
| 2.4 | <i>Il modello energetico. BEM</i> | 52 |
| | Metodi di calcolo della prestazione energetica degli edifici | |

3. Il caso studio

| | | |
|------------|------------------------|----|
| 3.1 | <i>Il Quartiere</i> | 64 |
| | Mirafiori Sud | |
| 3.2 | <i>Via Quarello 4B</i> | 77 |

4. Sviluppo del modello e analisi numerica

| | | |
|------------|---|-----|
| 4.1 | <i>Il modello architettonico</i> | 86 |
| | Dati involucro | |
| 4.2 | <i>Il modello di analisi energetica</i> | 94 |
| | LOOP di ottimizzazione e test per l'esportazione del file gbXML | |
| | LOOP di ottimizzazione per l'esportazione del file IFC | |
| 4.3 | <i>Dati utili al modello energetico</i> | 125 |
| | Dati climatici | |
| | Dati utenza | |
| 4.4 | <i>Il modello energetico in Design Builder</i> | 129 |
| | La Zonizzazione termica | |
| | Dati utenza | |
| | Dati involucro | |
| 4.5 | <i>Il modello energetico in EC700</i> | 142 |
| | La Zonizzazione termica | |
| | Dati utenza | |
| | Dati involucro | |
| 4.6 | <i>Analisi risultati energetici</i> | 154 |
| | Design Builder | |
| | EC700 | |
| 4.7 | <i>Confronto fra modelli</i> | 162 |
| 4.8 | <i>Valutazioni</i> | 172 |

Conclusioni

Bibliografia



1

Introduzione

Il peso della città

1.1



Si iniziò a ragionare sulla compatibilità dell'azione antropologica con l'ecosistema e le riserve naturali quando la popolazione umana contava intorno alle 3'706'618'163 unità (*fonte: U.S. Census Bureau, International Database.*) I primi studi sul tema insinuavano il concetto di limite dello sviluppo materiale di ciò che dall'uomo è prodotto e utilizzato. Nel 1972 infatti il Massachusetts Institute of Technology consegna i risultati di uno studio effettuato su scala mondiale al gruppo che glielo commissionò 4 anni prima. **Il Club di Roma** chiese ai ricercatori americani di indagare le conseguenze del rapido espandersi dell'economia e della popolazione che dalla fine della *II Guerra Mondiale* caratterizzò l'Occidente e non solo. Il periodo era connotato dalla prima crisi energetica avvertita direttamente dalla popolazione che proveniva dalla principale massificazione dei consumi dalla prima rivoluzione industriale; il tema venne amplificato dai media dell'epoca che stimolarono una primordiale sensibilità collettiva sull'argomento. Il risultato del report **“Limiti dello sviluppo”**, seppur viziato dai limitati metodi previsionali delle simulazioni dei computer del periodo, fu l'ipotesi dello scontro fra crescita demografica e il limite delle risorse naturali, disponibili in quantità finite in natura e non incrementabili. Questo porterebbe in un momento imprecisato entro i prossimi cento anni al declino improvviso ed incontrollabile del benessere della collettività.

Viene messo in discussione un paradigma che attraverso la massificazione del mercato, nutrito con la produzione di merce al di fuori della sfera dei bisogni primari, aveva generato l'apparenza del

progresso, del riscatto sociale e l'illusione superficiale di uguaglianza. **La Società dei consumi*** è necessariamente basata sulla sequenza "appropriazione-utilizzo-scarto" che permette l'aumento di capitale dell'azienda, che proiettato su scala nazionale comporta la crescita del PIL, crescita erroneamente identificata con l'aumento di benessere*. Lo studio prevedeva conseguenze catastrofiche, oltre che l'esaurirsi delle risorse di combustibili fossili entro il XXI secolo. Previsioni queste smentite dal verificarsi di una delle principali critiche fatta al report. Non veniva infatti preso in considerazione il lato positivistico della questione: l'evoluzione tecnologica.

* Jean Baudrillard, *La società dei consumi. I suoi miti e le sue strutture*. 1970

* H. Marcuse, *L'uomo a una dimensione*. 1967

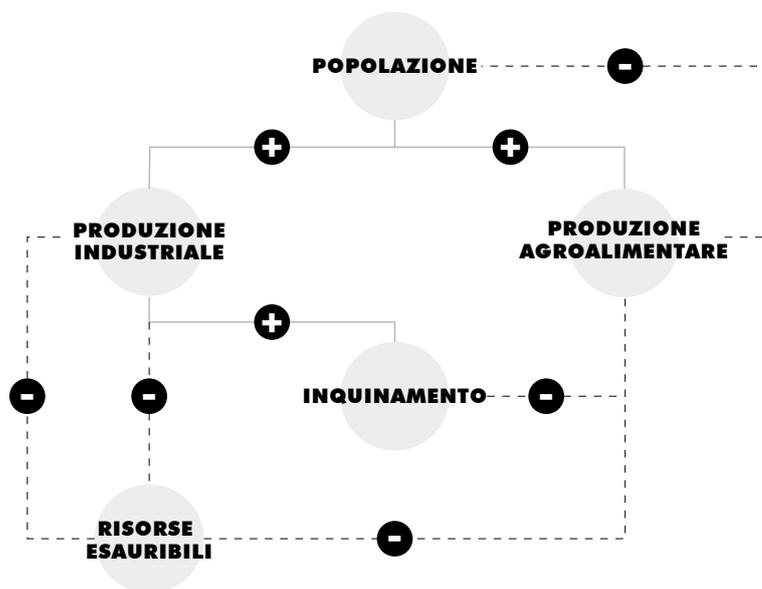


Fig. 1.1

Rielaborazione dei contenuti del Report "Limiti dello sviluppo"

Oggi risulta evidente la parziale inesattezza del contenuto mentre alcuni passaggi sono stati confermati e approfonditi da successive pubblicazioni del Club. Al netto del contenuto però lo studio fu utile per accendere il dibattito su un progresso sostenibile. Da allora questo concetto si è evoluto, negli anni è stato arricchito ed è concordato che suddetto sviluppo debba basarsi su quattro pilastri: Ecologia, Economia, Equità sociale e Diversità culturale.* Non è tuttavia un discorso chiuso.

Il quarto pilastro, la diversità culturale, è stato aggiunto dall'UNESCO nel 2001.

La crescita

** Popolazione umana ×
Quantità di beni consumati pro capite ×
necessità di materiali +
Energia per bene prodotto =
Impatto ambientale*

Se in Occidente si sta assistendo ad una frenata della crescita demografica, principale fattore nell'equazione dell'impatto ambientale*, è nei paesi periferici, quelli in via di sviluppo, quelli con il Pil a due cifre che il tempo sembra essere tornato indietro, rivedendo i connotati di una parvenza di benessere figlio della crescita insostenibile. I flussi migratori e la tendenza diffusa della popolazione all'inurbamento costringono a riflessioni sulla crescita anche i paesi più antichi, i paesi europei. Essi infatti non sono esentati da pianificare l'espansione dei principali nuclei abitativi, consci dei paletti ambientali fissati dalla situazione climatica attuale. In un ragionamento globale, secondo le Nazioni Unite la popolazione urbana supererà i 6 miliardi entro il 2045, crescendo più del doppio dei 3,9 miliardi del 2014. *Dal 2007 infatti il numero di abitanti delle città ha superato il numero di quelli che abitano fuori.*

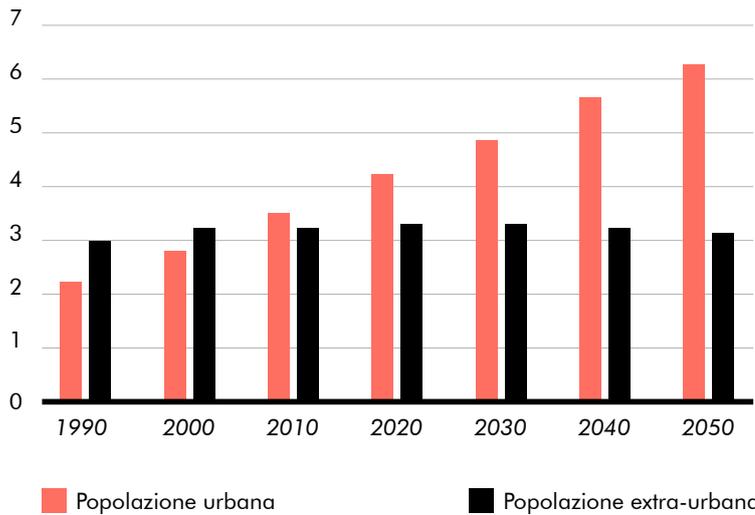
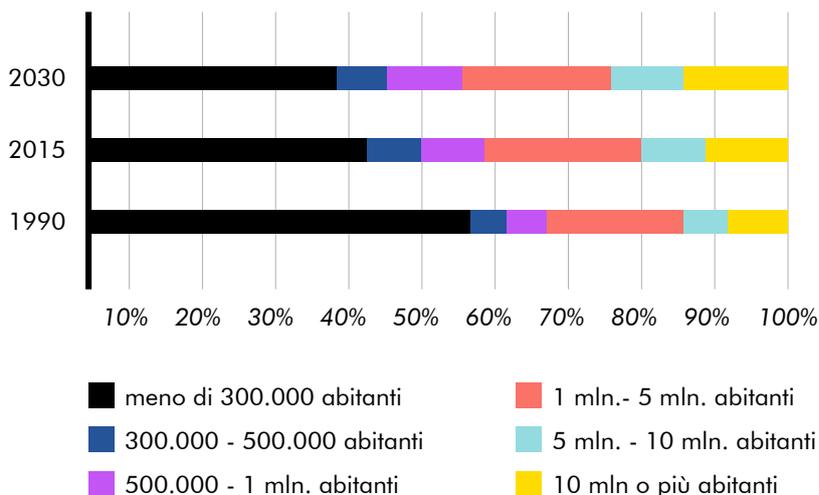


Fig. 1.2

L'andamento della popolazione urbana ed extra urbana, valutato in miliardi, a livello globale. Rielaborazione dati da The European House- Ambrosetti su dati ONU 2017

Non si può non sottolineare che questo andamento è accompagnato da una generale crescita demografica diffusa e stimata fino al 2050, seppur in maniera non uniforme fra i continenti. I dati ci dicono inoltre che parallelamente negli anni di questa analisi è aumentato anche il volume degli insediamenti urbani. Nel 1975 solo Tokyo, New York e Città del Messico potevano contare almeno 10 milioni di persone a popolarle. Negli anni 90' questa cerchia si era allargata a 10 e nel 2015 la conta di questi insediamenti è arrivata a 28, con una previsione di 40 nel 2030. Non è un comportamento che tocca solo le grandi metropoli, anzi questo trend è rilevato anche nelle città fino a 300 000 abitanti*.



*fonte: Organizzazione delle Nazioni Unite, "World Urbanization Prospects - 2014 Revision", 2015.

Fig. 1.3

Divisione percentuale degli assempiamenti urbani in relazione alla quantità di abitanti. Rielaborazione dati report , "World Urbanization Prospects - 2014 Revision", ONU 2017.

* A. Deaton, *La grande fuga. Salute, ricchezza e origini della disuguaglianza*, Bologna, Il Mulino, 2015

* S. Sassen, *Le città nell'economia globale 1994*

* Cerpi P., Rossi P., 1987, *Uno sguardo d'insieme, in Modelli di città: strutture e funzioni politiche*, cit p. 575

* H. Luser, *Grandi eventi e sviluppo locale attraverso la cultura: Graz e la regione della Stiria (Austria)*

* *Intaccando risorse come suolo e acqua*

Molto spesso nella storia le città hanno rappresentato una opportunità di fuga dalla povertà* dando la possibilità a larghe fasce della popolazione di godere di una vita qualitativamente migliore. Lungo il finire del Novecento abbiamo assistito ad un cambio di concezione del welfare state e di molti altri punti di riferimento nati negli anni di boom economico. La città ha cambiato la sua indole manifatturiera, sapendo convertirsi in un luogo incubatore di servizi per la produzione e per le persone. *

«Oggi l'intero pianeta sembra avviarsi a costituire un'unica area urbanizzata nella quale la città celebra il proprio trionfo, ma vede anche approssimarsi la fine dei suoi caratteri distintivi» *

Come detto, più di due terzi della popolazione europea vive nelle aree urbane (*World Population Prospects 2017*). Esse stanno diventando attori politici, sociali ed economici molto importanti tanto che sarebbe più corretto parlare di reti di città e poli di aggregazione. Aree di territorio flessibile di cui è difficile decretare il confine geografico poiché sono caratterizzate da dinamiche economiche e politiche ancora in fase di sedimentazione. Il ruolo di volano economico e di sviluppo all'interno di macro-aree le porta però ad una sorta di competizione. È alta infatti la concorrenza per avere i requisiti per occupare posizioni di rilievo all'interno di organizzazioni come esposizioni internazionali, giochi olimpici o campionati del mondo di calcio, capitali della cultura ed altre manifestazioni che con il loro indotto e per la loro preparazione vanno a stimolare operazioni di trasformazioni urbane.* È fondamentale la pianificazione di queste operazioni, onde evitare la formazione di organismi smisuratamente grandi che aumenterebbero la complessità di gestione, innalzando i costi economici, ecologici * e rischiando di generare insicurezza e ghettizzazione degli abitanti.

Il consumo

Gestione dei servizi pubblici, pianificazione, consumo del suolo e sostenibilità sono solo alcune delle sfide imposte dalla crescita della popolazione che si concentra in grandi aree metropolitane. Infatti, in media, la popolazione delle città cresce di 1,5 volte rispetto al tasso nazionale. * Le imprese tendono ad insediarsi nei nuclei di grandi dimensioni, perché possono disporre di maggiori servizi di base per le loro attività economiche e per la possibilità di reperire forza lavoro qualificata.

* OCSE, "OECD Regions at a glance: urbanization and urban forms"

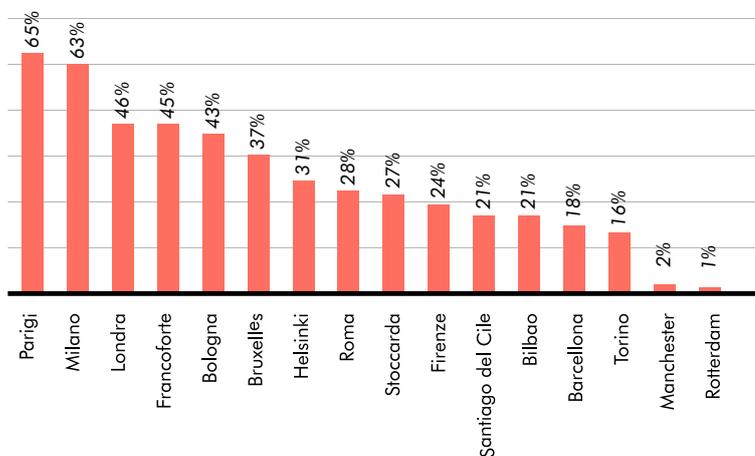


Fig 1.4

Delta tra PIL pro-capite di alcune aree urbane e PIL pro-capite del rispettivo paese. Media fra dati 2015. Rielaborazione Brookings Institute, "Global Metro Monitor 2018"

Anche il livello di rendimento è direttamente proporzionale all'aumento della popolazione. In seguito alla maggiore densificazione di servizi e aziende e grazie ad una maggiore specializzazione del lavoro, all'accesso a servizi e alla circolazione di idee, talenti e tecnologie l'OCSE afferma che la produttività può aumentare

(1) Secondo le rilevazioni dell'OCSE, nel 2008, il 65% di tutte le domande di brevetti nei 16 Paesi OCSE per cui sono disponibili tali informazioni sono riconducibili ad aree metropolitane sopra i 500.000 abitanti. Inoltre, in questi 16 Paesi, l'intensità di brevetti (pari al numero di domande di brevetto per milione di abitanti) nelle aree metropolitane è generalmente più elevata rispetto al resto del Paese.

(2) Secchi B. *La città de ventesimo secolo.*
Cit p 16

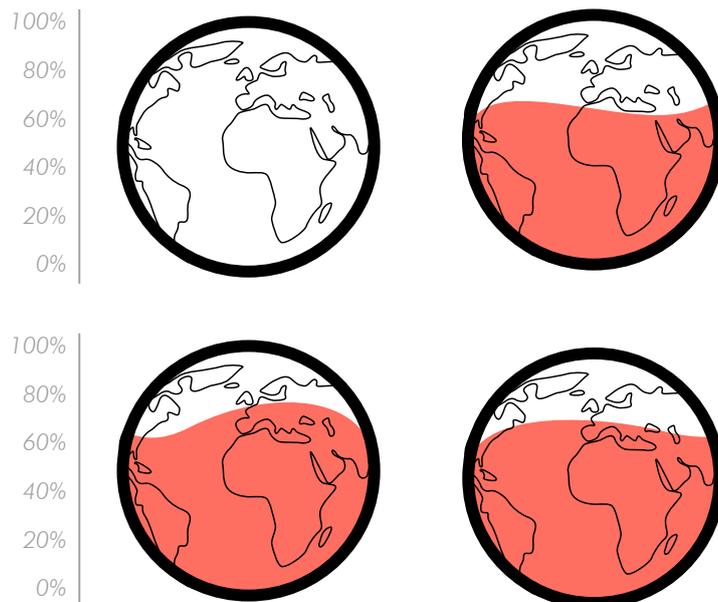
dal 2% al 5% ⁽¹⁾. L'aggregazione urbana genera i principali poli di innovazione e sviluppo tecnologico, che aiutano a far sì che circa l'80% del PIL mondiale avvenga al suo interno.

“Movimenti di persone e di cose, di idee ed informazioni, di tendenze artistiche e politiche, inseguendosi con propri e differenti ritmi, hanno espulso da intere parti della città, individui e gruppi sociali, attività, funzioni e immagini meno competitivi sostituendoli con soggetti, funzioni, ruoli e immagini nuovi”.⁽²⁾

Non sono soltanto i centri pulsanti ad espandersi ma anche la cintura esterna.

Tutta questa spinta produttiva e la ricchezza generata all'interno della città ha però, chiaramente, un costo. Anche se queste coprono solamente il 2 % (Fig. 1.5) di tutta la superficie terrestre, le attività che vengono compiute all'interno del suo perimetro consumano circa il 75 % (Fig. 1.6) delle riserve di materiali del pianeta. (UNEP, 2013a). Tralasciando l'energia necessaria e l'inquinamento prodotto per i materiali che andranno a costruire la città, le aree metropolitane sono responsabili del 67% (Fig. 1.7) del consumo globale di energia e conseguentemente oltre del 70% (Fig. 1.8) delle emissioni di gas serra.

In alto a sx Fig 1.5
In basso a sx Fig 1.6
In alto a dx Fig 1.7
In basso a dx Fig. 1.8
(United Nations University,
“Sustainable urban future”, 2015)



Seppur imperfetto e con dei limiti, un indicatore utile a comprendere la bulimia materica di una città è il **Domestic Material Consumption** (DMC). L'Eurostat* definisce il DMC come la somma fra i materiali grezzi estratti all'interno di un confine regionale e i materiali importati, privati dell'ammontare di quelli esportati, calcolata in un lasso di tempo (annuale).

*L'Ufficio statistico dell'Unione europea, principale ente statistico europeo

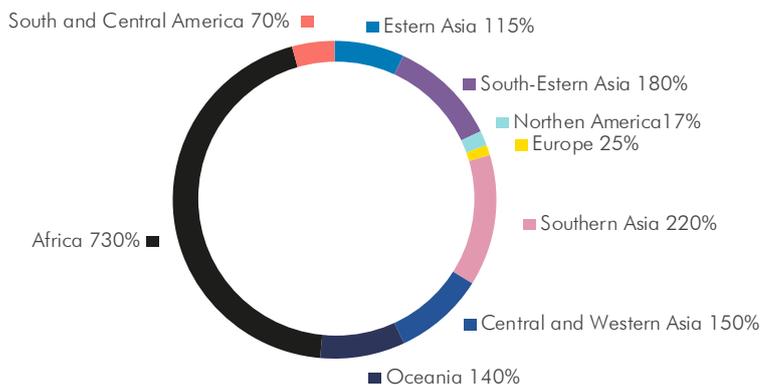


Fig. 1.9

Il grafico rapporta le principali regioni globali con la previsione della percentuale del cambiamento del DMC negli anni fra il 2010 e il 2050. Rielaborazione dati da "The weight of the City", UN Environment Programme 2015.

Sono i paesi in via di sviluppo, quelli che vedranno crescere di più i propri abitanti ad avere preoccupanti tassi di crescita di questo indicatore. In Europa, dove il fenomeno delle New Towns è sempre stato limitato, l'andamento del DMC è scollegato da quello del PIL.

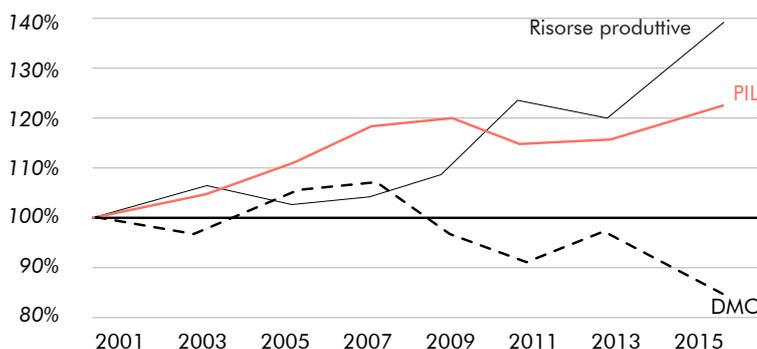


Fig. 1.10

In Europa, dal 2001 al 2015, la crescita del PIL ha avuto un andamento opposto rispetto a quello del DMC. Rielaborazione dati da "The weight of the City", UN Environment Programme 2015.

Tuttavia ciò non dovrebbe rasserenare molto noi europei. Il DMC infatti non dice tutto. Ci sono infatti altri indicatori* che meglio esprimono la complessità delle risorse inerenti al capo economico.

* Raw Material Input e Raw Material Consumption

Non vengono tenute in conto infatti tutte le materie prime coinvolte nel processo di produzione e anche la tipologia di energia e la quantità di gas serra non sono comprese.

Assecondando come si sta facendo attualmente questo fenomeno si sosterrà il bisogno e la richiesta di nuovi materiali per costruire o rammentare gli edifici, le strade e i paesaggi urbani, così verrà sostenuta la domanda per acqua ed energia a supporto della crescente popolazione. Chi detiene il ruolo di propulsore economico-sociale su scala mondiale non può esimersi dall'affrontare i grandi temi dell'Agenda mondiale. L'aumento e l'invecchiamento della popolazione, il riscaldamento globale e più in generale il tema ambientalista, l'integrazione fra le diverse culture e il superamento degli squilibri sociali sono infatti le principali sfide del nostro tempo. Su scala planetaria, il numero di persone con più di 60 anni raddoppierà nei prossimi decenni, arrivando del 2050 ad essere il 22% della popolazione. L'80% di essi si concentra nelle aree metropolitane.* Queste aree dovranno attrezzarsi per garantire un contesto "age-friendly", rivedendo i modelli di servizi come trasporti e sanità, promuovendo l'inclusione e la convivenza generazionale.

* OCSE, "Ageing trends in regions and cities", 2013

All'aumentare della dimensione dei nuclei cittadini è connesso un tendenziale aumento dell'uso di mezzi di trasporto pubblico e, in diverse proporzioni a seconda del peso di quest'ultimo, di quello privato. Sui territori della sola Unione Europea nell'ultimo decennio del XX secolo lo spazio consumato da una singola persona è più che raddoppiato. Un quarto del territorio è stato oggetto dell'espansione urbana.* Questo fenomeno deve confrontarsi con le conseguenze dell'inquinamento conseguenziale e dalle emergenze idrico-geologiche che interessano parti dei paesi maggiormente abitate.

* Commissione Europea, "Urban sprawl in Europe - The ignored challenge", 2006.

Dal 2014 le province italiane sono state convertite in Città Metropolitane. Esse costituiscono la spina dorsale dell'Italia sotto il punto di vista dei sistemi produttivi, delle infrastrutture, del valore economico generato attraverso formazione, ricerca e innovazione. In totale sono 14, si estendono su una superficie di quasi 50mila km², pari al 16,5% del territorio nazionale, ospitando circa 22 milioni di persone.

Dai primi anni 90' fino alla fine della prima decade del 2000, in Italia viene evidenziato lo slittamento della popolazione dalle zone della città più centrali a quelle periferiche. L'offerta economica abitativa sempre meno accessibile di alcune aree ha determinato un esodo verso la prima e la seconda cintura urbana, dove i valori immobiliari sono più bassi. Già sul finire del XX secolo si assiste al verificarsi di questo fenomeno, in diverse forme, su tutti i Paesi occidentali. Esso prende il nome anglosassone di *sprawl*, che significa letteralmente distendersi in maniera disarmonica, e descrive la cosiddetta città diffusa. La sua densità abitativa infatti viene diluita provocando un'occupazione del suolo poco lungimirante e conoscente di tematiche ambientali e sociali, che induce insicurezza nel momento di designazione dei suoi confini. Essi infatti diventano labili, si sovrappongono confondendosi in una omogeneità costruttiva che rende il contenuto indistinguibile geograficamente.

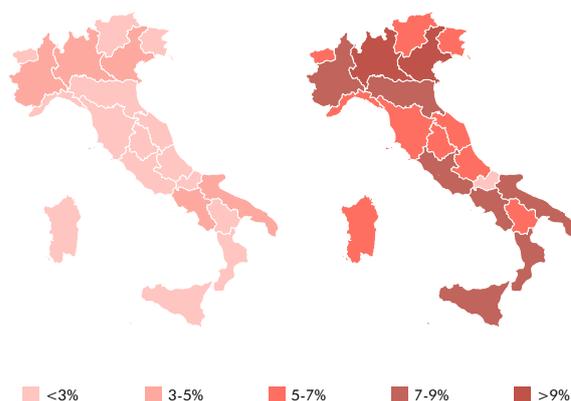
Con l'espandersi delle città aumenta anche il consumo del suolo, che continua apparentemente inarrestabile. La percentuale di superficie antropizzata sul territorio italiano è passata dal **2,7 %** degli anni 50' al **7,6 %** del 2017 (*fonte: ISPRA 2018*), segnando comunque un netto rallentamento negli ultimi anni.

Dopo essere arrivati a contare un consumo pari a 8 metri quadri al secondo nell'anno 2000, infatti, il consumo si è consolidato ma continua a fornire supporto per l'espansione dell'attività antropica a discapito di aree naturali o agricole. Con l'artificializzazione si va a manomettere alcune delle funzioni fondamentali del terreno. Il ruolo

di conservazione della biodiversità, della regolazione idrica, climatica e dei cicli degli elementi essenziali per la vita e per l'assorbimento di sostanze tossiche viene negato per perseguire insediamenti e infrastrutture. Il suolo viene considerata una risorsa non rinnovabile, in quanto per riprodurre un centimetro di suolo adatto all'agricoltura ci vogliono 500 anni di interazioni fra processi fisici, chimici e biologici.

Fig. 1.11

Stima del consumo del suolo nelle regioni italiane negli anni 50 (sinistra) e nel 2017 (destra). Rielaborazione dati Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2017.

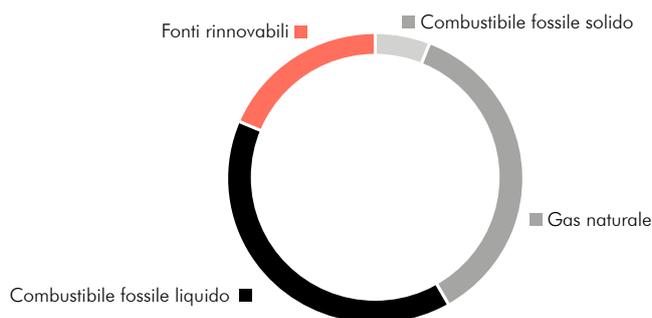


A livello europeo l'Italia ricopre il terzo posto per consumo di energia finale complessiva. Questo dato viene confermato dalla medesima posizione sia nella classifica del PIL degli stati europei che in quella per il numero di abitanti. Fra tutti gli stati attualmente membri dell'unione il nostro paese è sia in seconda posizione per la quantità di energia prodotta da fonti rinnovabili sia per la quantità consumata della stessa. Questo dato, relativamente positivo, non trova però riscontro nella qualità delle emissioni prodotte. Se si va a valutare la quantità di gas serra prodotti dal consumo di combustibili fossili, misurata in tonnellate di CO₂ equivalente, l'Italia torna ad occupare il secondo posto.

Valutato usando come unità di misura il toe (tonne of oil equivalent);

Come di vede dalla Fig 1.12 infatti più del 70% dei consumi del nostro paese è dovuto ai combustibili fossili.

Fig. 1.12



I settori maggiormente energivori in Italia dal 2000 al 2017 hanno avuto andamenti differenti.

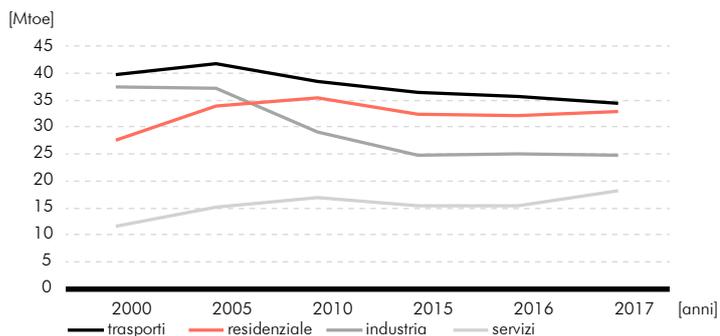


Fig. 1.13

Dalla Fig 1.13 si nota come per il settore residenziale e quello dei servizi dal 2000 non è stata riscontrata la stessa tendenza alla diminuzione dei consumi, con la differenza che solo il settore residenziale ha un consumo annuo paragonabile a quello degli altri settori maggiormente energivori, ovvero l'industria e i trasporti.

Notiamo infatti che secondo i dati europei forniti dal report *EU energy in figures 2019* la suddivisione dei consumi fra i vari settori per l'ultimo anno disponibile risulta quella riassunta nella Fig 1.14. Di questi è stato possibile individuare all'interno dei consumi del residenziale quattro categorie di utilizzo di quell'energia. Conseguentemente, soffermandosi sull'energia impiegata per il condizionamento degli ambienti è possibile, attraverso i dati *eurostat* sempre dell'anno 2017, riconoscere la provenienza dell'energia impiegata per questo scopo in Italia.

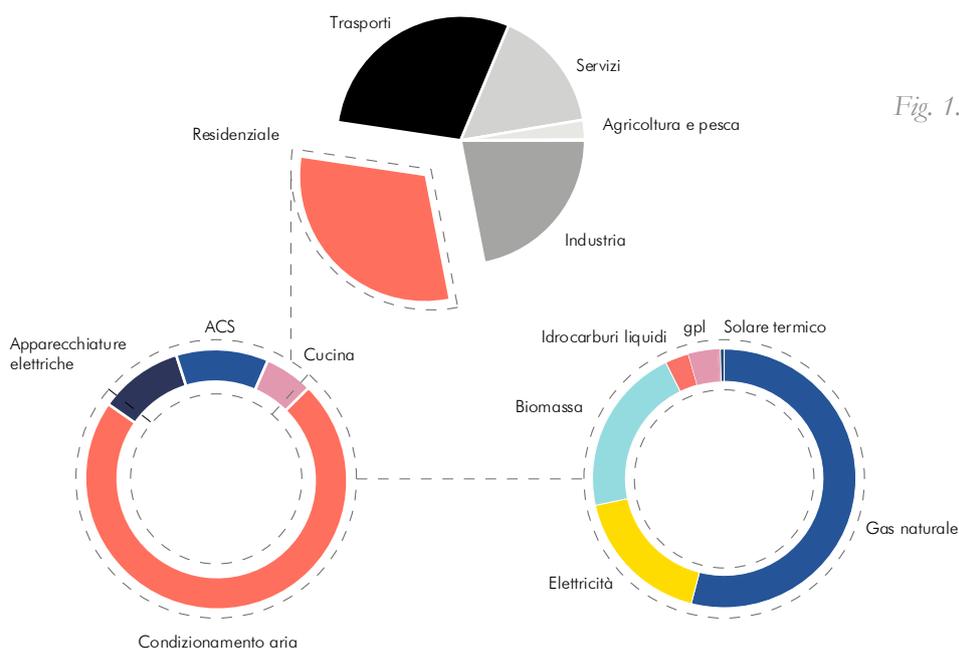
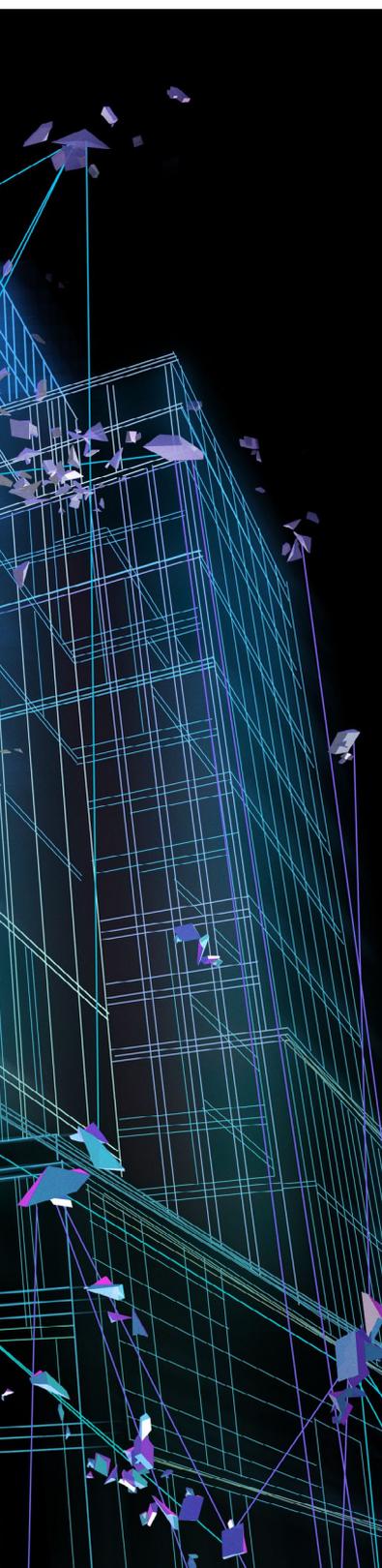


Fig. 1.14

Progettazione integrata

1.2



Se si intende lo sviluppo sostenibile delle città come una sfida, allora il settore delle costruzioni rappresenta un campo cruciale per la vittoria. In questo ambito la sostenibilità va ricercata conoscendo e governando le conseguenze dei cambiamenti e degli interventi su diversi piani, dall'economico al sociale passando per l'ambientale, sviluppando ogni fattore lungo la vita utile degli interventi stessi. È necessario evitare di identificare il requisito di sostenibilità come un semplice requisito energetico riferito alla singola fase progettuale che si sta affrontando, ma avere la forza di prendersi la responsabilità di interagire anche con le conseguenze future di quell'intervento, prediligendo un approccio olistico.

È dunque augurabile che l'iter decisionale alla base del progetto sia il più possibile "informato" degli impatti ambientali, sociali ed economici derivanti dalle scelte intraprese.

Quando si tratta però con oggetti complessi, come infrastrutture e edifici, è impossibile prendere scelte consapevoli in tempi utili se non si viene supportati da software che gestiscono tali informazioni in maniera integrata.

Una piattaforma di dati che faccia ciò e permetta quindi di gestire simultaneamente le diverse geometrie, informazioni economiche e tecniche di un progetto è fornita da quello che viene universalmente riconosciuto con l'acronimo BIM. Con il termine BIM si può intendere l'approccio integrato di raccolta di informazioni e specifiche tecniche rilevanti riguardanti ogni componente di un progetto, Il

Building Information Modelling, oppure si può intendere anche il modello dell'edificio che deriva da questa metodologia, il Building Information Model. * Nel corso del presente lavoro di tesi verrà interpretato sia come modello, se si sta parlando di rappresentazione 3D dell'edificio in esame nel quale vengono dettagliati informazioni e attributi dello stesso, che come metodologia se si parlerà della raccolta e scambio di informazioni da inserire nel modello stesso

I vantaggi del BIModelling

L'ambizione del BIM è quella di riunire in un unico modello ambiti e conoscenze professionali diverse, rendendole univoche e disponibili ai diversi operatori che aumenteranno il proprio livello di cognizione e controllo del manufatto in questione.

L'ambito delle costruzioni è da sempre basato su una metodologia progettuale basata su disegni e relazioni cartacee, mostrando una debolezza strutturale del metodo. Il lavoro speso per la produzione di un documento relativo ad un progetto, sia esso a mano o al computer, rappresenta una quantità di tempo ed energie spese per produrre un determinato risultato finale, leggibile dagli attori del processo ma di per sé non manipolabile o liberamente riutilizzabile e condivisibile. La ripetizione del lavoro in una trama di progetto molto complessa comporta una importante mole di sprechi di tempo e risorse. I dati prodotti con questa metodologia tradizionale infatti devono essere inseriti o creati nuovamente da ogni specifico operatore, poiché i software utilizzati non sono interoperabili.

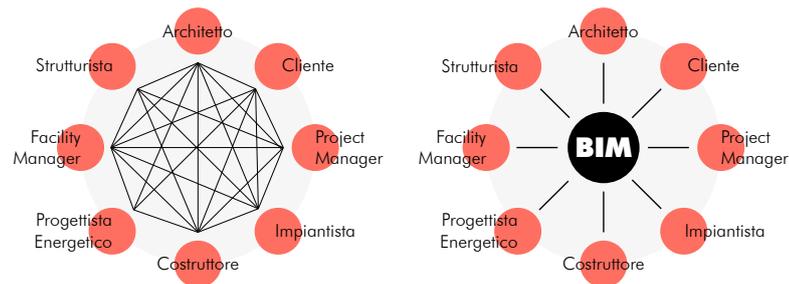
Il BIM invece è intrinsecamente efficiente poiché porta gli attori del processo a condividere informazioni che possono anche non interessare a tutti nello stesso modo, ma da tutti sono accessibili.

A questo punto il modello può essere utilizzato da tutti gli utenti che possono aggiungere o modificare i loro interventi. L'adozione di

standard unitari noti ai collaboratori rende il modello fruibile, così che tutti possano fruire da un modello univoco e eseguire le simulazioni o analisi che competono alle diverse discipline professionali impegnate. L'esistenza di formati di scambio universalmente riconosciuti come **IFC** e **gbXML** rende poi l'interoperabilità fra i diversi software caratteristici delle diverse competenze possibile e efficiente.

Fig. 1.15

Il cambio di paradigma nello scambio di informazioni con l'utilizzo del BIM è evidente. Rielaborazione dati da Sustainable Building Alliance (SBA).



I layers richiesti nella progettazione al giorno d'oggi sono molteplici: dati strutturali, dati riguardanti l'illuminazione, il riscaldamento, il raffrescamento, gli impianti idraulici e così via. Risulta molto difficile coordinare tutti questi ambiti e personalità diverse senza generare errori o sprechi. Ogni anno in America, secondo il White Paper di Autodesk Revit, ritardi dovuti ad errori nella fase progettuale hanno causato perdite per un terzo dell'intera spesa del settore.

Economicamente non è possibile quantificare i guadagni diretti dovuti all'adozione di questa metodologia, in quanto molti sono, come esplicitato fra le prime righe di questo capitolo, benefici a lungo termine. Si può però provare a riassumere tutti i vantaggi e benefici che si hanno in un progetto supportato da questo metodo:

- Ridurre la ripetizione del lavoro;
- Inserire dati un'unica volta durante il ciclo di vita del manufatto e poterli riutilizzare a piacimento;
- Poter interpolare informazioni ambientali del sito con quelle dell'edificio di progetto;

- Aumento conoscenza generale dello stato di fatto;
- Ridurre perdite di tempo dovute alla richiesta di informazioni fra le parti.

Tutti questi benefici garantiscono costi più bassi di gestione del progetto, sia nella fase iniziale di design che nella fase operativa dello stesso.

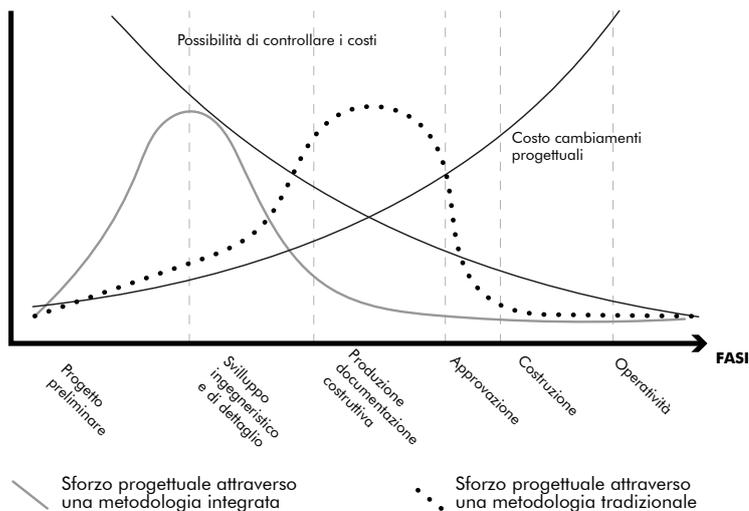


Fig. 1.16
Diagramma di MacLearny

Il diagramma di **MacLearny** ci aiuta a capire come si caratterizza il metodo tradizionale e con quello integrato. I due andamenti mostrano come lo sforzo progettuale del metodo integrato focalizzato nelle prime fasi del progetto abbia un effetto più che positivo nella riduzione dei costi, a differenza del metodo tradizionale che vede l'apice del lavoro svolto nelle ultime fasi prima della costruzione, quando i vincoli progettuali sono oramai stretti e le correzioni diventano molto dispendiose.

Risulta chiaro quanto l'oggetto della riduzione non sia la mole di lavoro, in quanto lo sforzo progettuale è pressoché identico in entrambi i metodi, ma bensì la riduzione dei costi, garantita ad una precisa simulazione di tutte le fasi di vita dell'edificio.

La simulazione energetica

1.3



Con il termine simulazione energetica si intende la riproduzione di un manufatto sottoposto ad un modello matematico costruito per rappresentare ogni possibile flusso di energia o interazione al suo interno; un tentativo dunque di emulazione della realtà.

Negli anni 80', con il diffondersi dei personal computers hanno iniziato a svilupparsi anche i primi programmi volti ad un'analisi energetica integrata, ovvero analisi dove i diversi parametri e fenomeni reagiscono tra loro, rappresentando così una netta separazione dai metodi precedenti che puntavano a risolvere i diversi bilanci in maniera indipendente e scollegata, attraverso significative semplificazioni.

Da allora i software di simulazione energetica, come del resto quasi tutto ciò che è materiale, ha fatto progressi immensi. La forza dello strumento sta nella possibilità di replicare sistemi complessi e farli interagire fra loro. I guadagni gratuiti, le ombreggiature, la conduzione termica, l'irraggiamento e gli impianti con i sistemi di controllo annessi vengono presi in considerazione e fatti reagire fra loro simultaneamente.

Le tematiche ambientali che dominano le preoccupazioni sull'edilizia negli ultimi decenni hanno portato le principali case di produzione di software BIM a offrire strumenti di analisi delle prestazioni energetiche integrati ai programmi principali. Ovviamente questa necessità è stata anche accelerata dalle disposizioni di legge

inerenti alle performance energetiche degli edifici come la **EPBD** proposte dall'Unione Europea che rende necessario accompagnare a contratti di vendita e locazione l'*Energy Performance Certificate*.

In seguito ad accordi internazionali, sollecitati dagli effetti dovuti al cambiamento climatico che già dagli anni 90' evidenziavano l'insostenibilità dell'attuale situazione, sono stati varati piani attuativi per la riduzione dei gas dannosi per l'equilibrio ambientale.

Direttive europee e legislazione nazionale

La prima regolamentazione in Italia riguardante temi energetici per l'edilizia privata risale al 1976 con la *n 373*, pertinente alle norme di installazione e manutenzione riguardanti i soli impianti termici. Nel 91' il nostro paese fa un passo avanti con la legge n 10 che, restando in vigore diversi anni, regola il settore termotecnico nel tentativo di ottimizzare i consumi. Questa legge presenta diversi contenuti all'avanguardia ed ha rappresentato anche una delle più sofisticate realtà legislative a livello europeo. Assieme al *DPR. 412 del 1993* infatti venivano dettagliati diversi fattori specifici come la velocità dei venti, i coefficienti di esposizione e le temperature medie mensili relative ad ogni parte del territorio, che a sua volta era stato diviso in zone climatiche in base ai Gradi Giorno e ai periodi di esercizio del sistema riscaldamento.

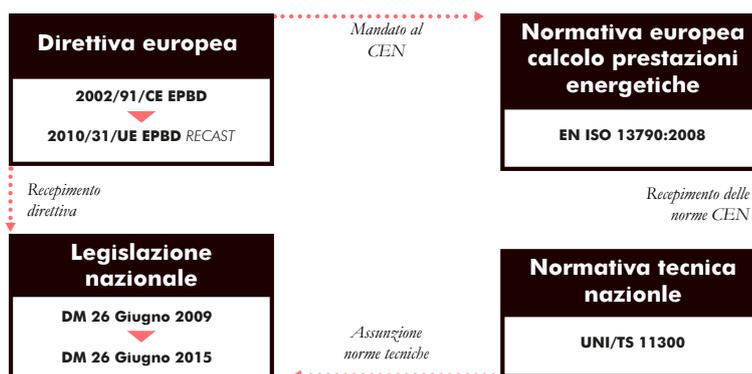
Nel 2002 la commissione europea emana la direttiva *2002/91/CE*, conosciuta con il nome di **EPBD**.* La debolezza di questa direttiva per il calcolo della prestazione energetica dell'edificio era che non poteva appoggiarsi su consolidate ed uniformi norme europee condivise da tutti gli stati membri. Molti di questi infatti si affidavano alla *EN 832:1998* (successivamente *EN ISO 13790*) per i fabbisogni mensili *QH;nd* e *QC;nd*, mentre aveva le proprie norme statali per il calcolo degli impianti o dell'energia primaria.

**Energy Performance Building Directive*

Lo stato italiano fu uno dei primi a recepire questa disposizione del 2002, emanando il **D.Lgs. 192 del 19 agosto 2005** “Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia”. Questo introduce l’obbligo ad allegare l’attestato di prestazione energetica in caso di compravendita dell’immobile.

Sarà però solamente più avanti con il **DM 26 Giugno 2009** che verrà prescritto l’obbligo dell’adozione per il calcolo del fabbisogno energetico degli edifici delle *UNI/TS 11300*. Nello stesso anno si rafforza anche il calcolo normato dalla EN ISO 13790, arrivando a proporre già un metodo orario semplificato. In seguito alla riorganizzazione della divisione statale, viene lasciata autonomia legislativa alle regioni in merito alla certificazione energetica. Ne deriverà una giungla di procedure e certificati differenti richiesti da regione a regione.

Attuale quadro delle relazioni fra legislazione e normativa;



In generale però la scarsa capacità di imposizione della metodologia offerta dalla EPBD e la difficoltà di uniformare un calcolo basato su troppe realtà regionali differenti, porta l’Europa alla riscrittura

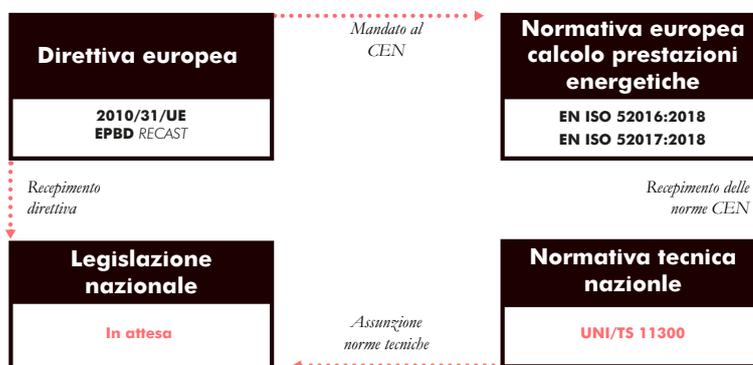


della stessa. La 2010/31/UE rappresenta un aggiornamento della precedente del 2002 e prende il nome di **EPBD Recast**. Questa direttiva prevede, fra le altre cose, che dalla fine del 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione, pubblici e privati, saranno degli nZEB*. In Italia questa direttiva si tradurrà con la nascita del APE*.

**Nearly Zero Energy Building*

* *Attestato Prestazione Energetica*

Dopo alcuni iniziali tentennamenti del governo italiano, costati l'attivazione di una procedura di infrazione nei confronti del nostro paese, viene presentata in un primo momento una modifica al *D.Lgs. n. 63/2013*, aggiornandolo il testo del **Decreto Ministeriale 26 giugno 2015**.



Ipotesi delle future relazioni fra legislazione e normativa: Viene segnata in rosso la UNI TS11300 in quanto ci si aspetta che verrà aggiornata in modo da poter integrare la suddetta norma europea. E' ancora assente il decreto legislativo e ministeriale che imporrà l'uso di queste norme.

Per colmare alcune lacune emerse nel tempo e risolvere i problemi legati alla poca univocità delle procedure, la commissione europea ha commissionato al suo organo CEN* di aggiornare la normativa con la redazione di circa 90 documenti. Dal 2010 ad oggi alcune di queste norme sono in fase di elaborazione mentre altre sono diventate vigenti.

(**Comitato di Normazione Europea*)



Fig. 1.17

Timeline della principale attività normativa europea e italiana

Appartiene a questa ultimo mandato la EN ISO 52016 e più in generale tutta la serie 52000. La 52016 in particolare sostituirà la EN ISO 13790:2008, norma sulla quale si basano le procedure di calcolo della UNI-TS 11300 che fornisce il metodo di calcolo per la verifica dei requisiti minimi e la produzione degli APE, gli attestati di prestazione energetica. Anche se attualmente non riconosciuto poiché incompleto, siamo di fronte ad un importante cambio di metodologia, che comporta un graduale affiancamento di un calcolo giornaliero dinamico all'odierno calcolo mensile stazionario.

Questa norma va a sostituire, come già accennato, in totale 5 precedenti importanti norme:

- UNI EN 15265:2008 - *Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici - Criteri generali e procedimenti di validazione*
- UNI EN 15255:2008 - *Calcolo del carico sensibile di raffrescamento di un ambiente - Criteri generali e procedimenti di validazione*
- UNI EN ISO 13790:2008 - *Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento*
- UNI EN ISO 13791:2012 - *Prestazione termica degli edifici - Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione - Criteri generali e procedure di validazione*
- UNI EN ISO 13792:2012 - *Prestazione termica degli edifici - Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione - Metodi semplificati*

In questa tesi si approfondirà questa ultima norma, la UNI 52016, andando a confrontare i risultati derivati da un calcolo dinamico semplificato ed uno svolto con uno dei motori di calcolo più affermati

nel panorama internazionale: EnergyPlus. Non è, infatti, una novità l'uso di modelli di calcolo dinamici per le prestazioni degli edifici, anzi è da diversi anni che sono disponibili, anche in forma gratuita, diversi software che aprono questa possibilità.

Obiettivi e organizzazione del lavoro

1.4

All'inizio di questo capitolo è stata rappresentata un'immagine del profilo di crescita del principale modello insediativo umano: la città. Lo studio condotto sulle implicazioni di questa forma di abitare ha rivelato chiaramente il punto sul quale è necessario intervenire per garantirne una crescita responsabile, cosciente e sostenibile. Ritenendole valide risposte al problema precedentemente sollevato vengono descritte delle metodologie di controllo dell'esistente e di valutazione del progetto. Nei paragrafi precedenti viene sottolineato come la **progettazione integrata** offra gli strumenti per una implementazione del controllo degli ambiti orbitanti attorno ad un progetto edilizio. Uno di questi ambiti è proprio quello energetico, le cui analisi si realizzano nella simulazione del comportamento nelle fasi di vita del manufatto.

L'obiettivo della tesi risulta quindi in un primo momento andare ad analizzare la metodologia e lo stato dell'arte della progettazione integrata e dello studio energetico in edilizia, per poi andare a verificare operativamente i vantaggi e le criticità di questi processi. Più nel dettaglio la tesi seguirà due filoni di analisi simultaneamente. Andando a confrontare due metodologie di **calcolo dinamico energetico** si andrà a valutare come, partendo da una modellazione *BIM-based* di un edificio, si possono trasferire le informazioni su i due software designati al calcolo. Seguendo i percorsi di scambio di informazioni fra diversi modelli, scambi resi possibili attraverso i due principali formati di scambio oggi disponibili, si analizzerà quindi il procedimento a livello operativo affiancando considerazioni sulla

metodologia a una descrizione manualistica del funzionamento dei software utilizzati. Si proverà infatti a fornire un supporto utile ad un ipotetico utente attraverso brevi video e descrizioni volte a garantire la fluidità di un percorso che da una modellazione architettonica porta ad un'analisi energetica dinamica del comportamento di un edificio.

Nel **Capitolo 2** verrà comunicata la metodologia utilizzata e quali sono i modelli che compongono l'analisi. Verranno inoltre approfondite le tematiche inerenti la progettazione parametrica integrata e ai differenti metodi di calcolo energetici presenti a livello normativo e non.

Seguirà una descrizione del caso studio, nel **Capitolo 3**, arricchita da una parte di analisi del contesto nel quale l'edificio si inserisce, il quartiere di *Mirafiori Sud*. Questo infatti rappresenta e ha rappresentato una realtà importante della città di *Torino*, oltre che identificare anche una tipologia edilizia estremamente rappresentativa di un preciso momento storico, che condivide molti caratteri con diversi interventi simili sparsi sul territorio italiano.

L'ultimo capitolo, il **4**, rappresenterà la parte operativa del lavoro di Tesi. Attraverso gli stessi termini e la stessa organizzazione della metodologia dichiarata nel capitolo 2 verrà descritto il processo che da un singolo modello BIM porta ad una biforcazione del processo in due software basati su motori di calcolo differenti.

A **conclusione** verrà verificata la coerenza dei modelli e ne verranno confrontati i risultati, accompagnandoli sempre con considerazioni puntuali. In seguito verrà giudicato il comportamento dei software nei confronti dell'interoperabilità delle informazioni e dell'esperienza di utilizzo.



2

Modelli di analisi e calcolo energetico

Metodologia

2.1

Cosciente della forte coesistenza del binomio edificio-impianto, inteso come interdipendenza di generazione, gestione e dispersione del calore, ho scelto di svolgere un lavoro di analisi riguardante la sola parte dell'involucro che divide l'interno dall'esterno, il privato dal pubblico, la stessa parte che oltre ad incidere sul comportamento energetico incide anche su una tematica meno scientifica ma non per questo meno importante, quella dell'aspetto esteriore dell'edificio. Come un oggetto si presenta all'esterno deve essere coerente e bilanciato con le conseguenze che produce all'interno. Credo infatti che sia intrinseco nel compito dell'architetto l'unione della sfera tecnica con quella estetica. Nella mia visione risulta fondamentale il saper coniugare conoscenze fisiche, che si riversano nella tecnica dell'utilizzo dei software, con le conseguenti scelte progettuali che costituiranno il materiale di cui la città si compone, e viceversa.

Sarebbe molto difficile, dispendioso e non così utile ai fini di questa tesi replicare fedelmente il comportamento di un immobile, poiché esso è formato da molte variabili, soprattutto riferite all'utilizzo, difficilmente replicabili. Per questo motivo le simulazioni si basano su delle **ipotesi** indicate da degli standard, che permettono comunque di ottenere una buona accuratezza ed attendibilità del risultato. Si possono però fare delle scelte sul tipo di analisi che si vuole svolgere. Basandosi infatti sull'obiettivo di questa e sulla volontà di ottenere risultati più o meno approfonditi in un lasso di tempo più o meno lungo si può scegliere di svolgere i calcoli in un regime dinamico o stazionario. Questi due aggettivi si riferiscono

alle condizioni all'intorno del soggetto analizzato. Semplificando il fattore tempo infatti nelle analisi così dette stazionarie si assiste a delle approssimazioni sulla natura dei fenomeni coinvolti, come le oscillazioni delle condizioni interne, alla modalità di occupazione e alla variazione del clima esterno. Questi temi saranno dettagliati in seguito.

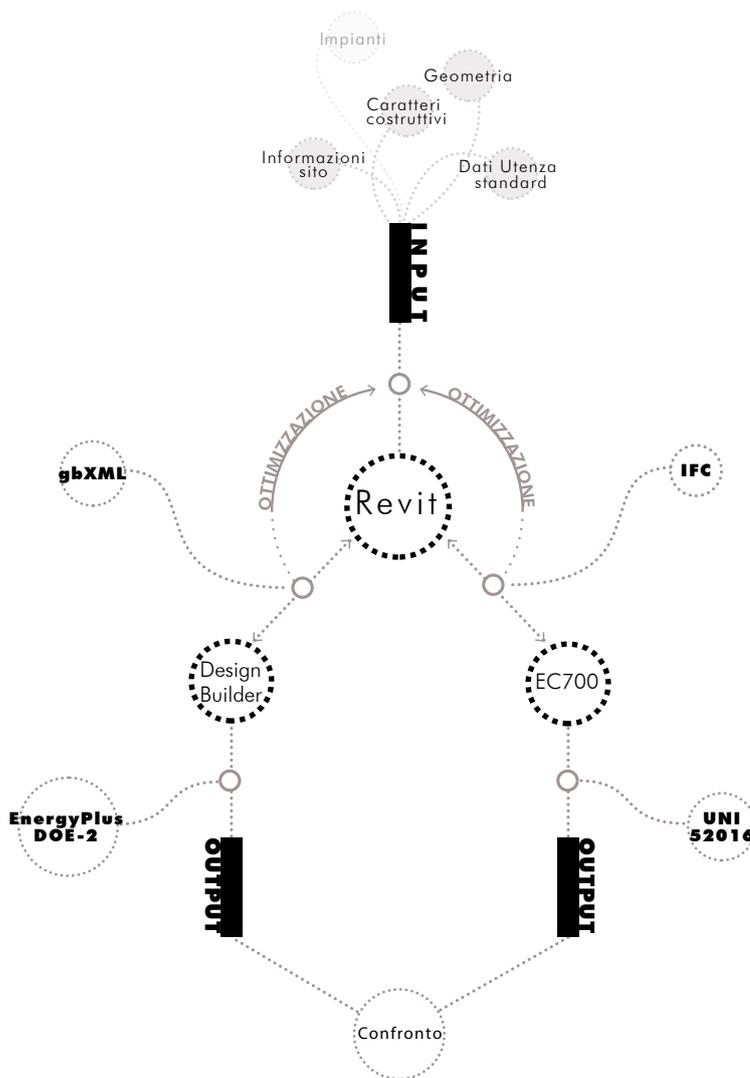


Fig. 2.1

Metodologia adottata in questa Tesi;

L'oggetto di questo lavoro di tesi è dunque uno studio del comportamento d'involucro del caso studio, partendo da una modellazione BIM-based dello stato di fatto. Verranno analizzate le modalità di esportazione, la compatibilità e l'interoperabilità fra

Revit e il programma scelto per l'analisi dinamica: EC700 versione 9. Successivamente si confronteranno i risultati ottenuti con quest'ultimo software, basati sulla nuova metodologia di calcolo fornita dalle norme UNI EN ISO 52016, con i risultati ottenuti da un altro consolidato programma di calcolo, Design Builder, basato su Energy Plus. Questo confronto è utile per verificare la bontà dell'applicazione di un metodo semplificato, come quello della UNI EN ISO 52016, rispetto ad uno più dettagliato.

Lo schema in Fig. 2.1 rappresenta il work flow eseguito per il raggiungimento degli obiettivi del lavoro. A livello operativo si può schematizzare e semplificare ulteriormente il processo. Si può infatti evidenziare la creazione di diversi modelli, consequenziali, volti al raggiungimento dell'analisi energetica:

- Creazione modello architettonico (**BIM**, *Building Energy Model*)
- Creazione modello analisi energetica (**EAM**, *Energy Analysis Model*)
- Creazione modello energetico (**BEM**, *Building Energy Model*)

Attraverso questi tre passaggi sarà possibile determinare il fabbisogno energetico del caso studio.

Il modello architettonico (BIM)

2.2

La stesura di un modello architettonico parte dalla raccolta dei dati che descrivono il caso studio. Si tratta di una fase chiave all'interno di tutto il processo perché dalla sua precisione deriva la bontà e affidabilità del risultato finale. Geometria, tipologia occupazionale, collocazione geografica e composizione materica dell'edificio sono le principali macrocategorie di dati da raccogliere.

La rappresentazione di un progetto architettonico può essere eseguita, come abbiamo visto nel precedente capitolo, in diversi modi e con diversi software. Per questo lavoro è stato scelto di utilizzare uno dei più diffusi software BIM così da implementare la significatività del lavoro. Il programma in questione è Revit.

Revit significa *REVise InsTantly*, ovvero revisione istantanea e già dal nome si intuisce uno dei principali punti di forza della metodologia. Ogni modifica ad ogni elemento costruttivo comporta un aggiornamento in tempo reale, istantaneo, dell'aspetto del modello che restituisce inoltre un aggiornamento degli abachi e dei computi. Essendo un software parametrico infatti possono essere inserite in qualsiasi momento informazioni che vanno a modificare le caratteristiche di un oggetto, che essendo collegato e connesso con gli elementi intorno a lui produrrà delle conseguenze concatenate dagli esiti immediati.

È possibile lavorare all'interno di questo programma in maniera completamente interdisciplinare. Esso infatti è composto da tre "specializzazioni": Architettura, Strutture, Sistemi.

Architettura è l'ambiente all'interno del quale è stato sviluppato

il lavoro in questa prima fase e fornisce tutti gli strumenti necessari alla stesura del progetto considerato architettonico. Struttura è un ambiente pensato per lasciare fuori tutto quello che non partecipa al comportamento strutturale dell'edificio. Sistemi è un tema basato su MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) permette la modellazione di qualsiasi tipo di impianto sulla base del modello architettonico e strutturale. Essendo, come detto, Revit un programma parametrico si basa su un concetto gerarchico fondamentale, quello della "famiglia". Esso è un insieme di elementi caratterizzati da un insieme di dati, geometrici e non, che li descrivono in modo comune. In pratica le famiglie sono elementi appartenenti alla stessa unità tecnologica come muri, solai, porte, finestre ecc... Vi è un'ulteriore suddivisione all'interno della definizione di famiglia. Vi sono infatti:

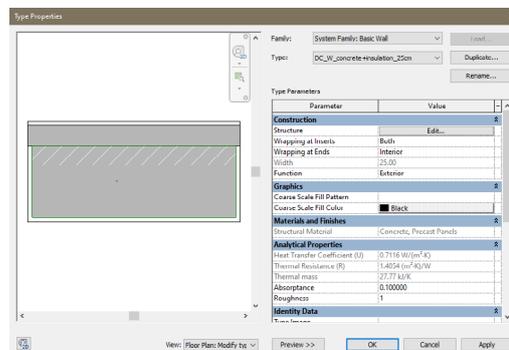
Famiglie di sistema: *Comprende tutti gli elementi strutturali di un edificio;*

Famiglie caricabili: *non strutturale come serramenti arredi ed impianti;*

Famiglie locali: *Oggetti modellati per uno specifico progetto e che, probabilmente, non verranno più riutilizzati per altri.*

Il punto di partenza di una nuova modellazione, nella maggior parte dei casi, è l'importazione di un file DWG che fungerà da base per l'iniziazione del modello. Fig. 2.2

Una tipologia di informazioni, fra le diverse che si possono inserire nel modello, sono quelle termo-fisiche collegate ai differenti materiali. Grazie alla finestra proprietà è infatti possibile informare gli elementi delle diverse caratteristiche che lo descrivono.



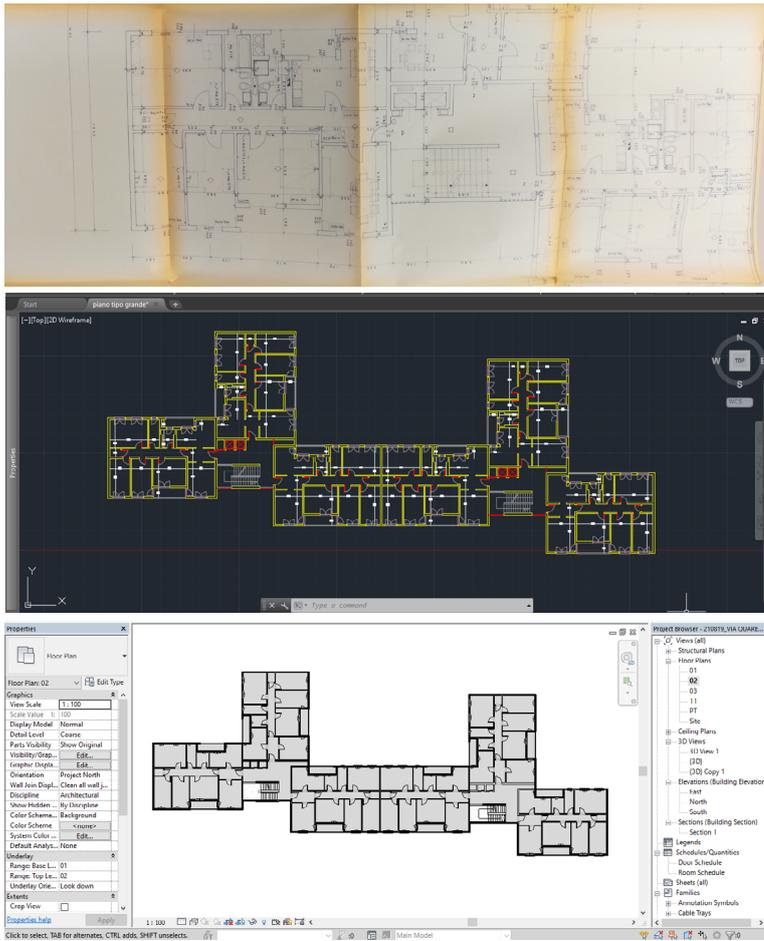


Fig. 2.2

Dal rilievo speditivo affiancato ad una ricerca in archivio degli originali documenti di progetto (in alto) è stato possibile ridisegnare le piante su AutoCAD prima (in mezzo) e su Revit poi (in basso).

Questi dati ci serviranno successivamente quando il modello verrà importato negli altri programmi.

Un'altra importante suddivisione da fare all'interno di Revit, fondamentale per la realizzazione rapida del modello BEM è l'indicazione di Vani o Locali. I secondi rappresentano una categoria che porta con se unicamente caratteristiche geometriche, mentre ai primi è possibile associare carichi elettrici, carichi interni, illuminazione e flussi meccanici. La scelta di utilizzare uno piuttosto che l'altro comporterà conseguenze nell'interoperabilità fra i software.

Simulazione e condivisione del BIModel

Appurati i vantaggi e la filosofia che anima la metodologia BIM-based, vediamo di cosa si compone questa modellazione.

L'efficacia dell'utilizzo di un modello BIM si basa su due concetti fondamentali: la condivisione e la simulazione. Condivisione perché è chiamato a fornire un supporto per il dialogo delle diverse figure professionali che ruotano attorno ad un progetto edilizio; una condizione sine qua non perché questo accada è l'alta interoperabilità informatica dei software. Si tratta inoltre di un modello che diventa realmente efficace una volta che viene descritto con determinate informazioni che lo rendono potenzialmente una simulazione a 360° del comportamento dell'edificio stesso.

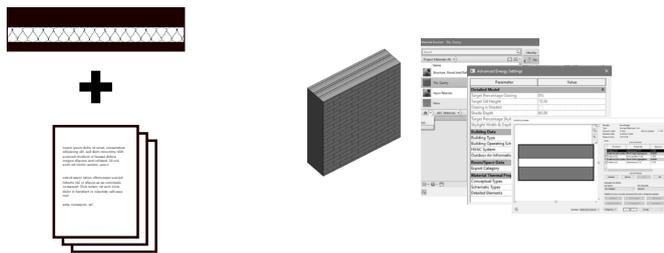
Simulazione

L'efficacia del modello viene garantita dall'opportunità di far interagire fra di loro gli elementi che lo compongono. L'essere parametrico rende il BIM concettualmente diverso anche dal metodo rappresentativo del CAD. *

** Con l'acronimo CAD significa
Computer-Aided Drafting, traducibile
con disegno assistito dall'elaboratore*

Dagli anni 60' sono stati fatti grandi passi in avanti, in termini di time-saving, nella rappresentazione del progetto. Dall'uso di matita e tecnigrafo infatti è avanzato il livello tecnologico degli strumenti arrivando riprodurre al CAD attraverso il computer gli elaborati necessari. E se si fosse alla ricerca di una semplice rappresentazione, un semplice disegno, ci si potrebbe accontentare della stessa tecnica di disegno 2D che da sempre si usa nella professione. Il BIM infatti non è chiamato a competere con il CAD su questi tipi di rappresentazioni. La tecnologia CAD è un progresso della stessa metodologia che viene da sempre usata nella professione; un progresso che ci fa risparmiare tempo, senza innalzarne la qualità del progetto, se non dal punto di vista grafico.

Ci si avvale del BIM per l'estrapolazione degli stessi elaborati che vengono prodotti con tecniche tradizionali: piante, prospetti, sezioni, dettagli tecnologici, ecc.. Il percorso per ottenerli è però concettualmente diverso. Vengono generati dall' analisi di un modello 3D esistente. Non si tratta però neanche di una mera rappresentazione 3D, poiché questa è una conseguenza della raffigurazione delle varie informazioni. Sarebbe impossibile escluderla da una lista di informazioni necessarie nella descrizione di un oggetto. Un serramento oltre ad informazioni materiche e di trasmittanza infatti è anche descritto da dimensioni nello spazio. Ne risulta che non sarebbe sensato rappresentarlo unicamente in due dimensioni. Con il CAD i vettori sono letti indiscriminatamente dalla macchina, ma percepiti con un dato criterio dal disegnatore. Con il BIM l'oggetto, e le informazioni che esso porta con sé, sono indiscutibili. Gli oggetti nel BIM sono simulazioni virtuali costituite da attributi di una verosimile realtà.



CAD Tradizionale

Un muro viene descritto da semplici linee a cui i layer associano proprietà, che verranno integrate con ulteriore documentazione

Modello BIM

Un muro è un **oggetto** tridimensionale **parametrico**, appartenente a una famiglia personalizzabile. Ogni oggetto porta con se le informazioni necessaria per la sua descrizione

La regolazione della quantità e qualità di questi attributi determina quello che in ambito internazionale è chiamato LOD. Il **Level Of Development** infatti rappresenta il grado di sviluppo delle informazioni convogliate in un oggetto. Esse possono essere poco sviluppate a causa di una prematura fase del progetto o di una temporanea inaffidabilità del dato. L'idea di evoluzione dell'informazione è speculare a quella di avanzamento del progetto. Le variabili che descrivono il LOD di un oggetto sono il *Level Of*

Information e il *Level Of Geometry*. Il LOI rappresenta la bontà degli attribuiti non geometrici mentre il LOG rappresenta quelli grafici. I livelli di sviluppo LOD possono e saranno probabilmente diversi per i diversi oggetti e parti del modello.

Attualmente a livello mondiale esistono diverse definizioni dei gradi LOD. Anche l'Italia ha una sua classificazione, espressa nella parte 4 della **UNI 11337:2017**, ed è quella adottata in questa tesi. Questa prevede una suddivisione articolata in una scala progressiva, che va dalla A alla G:

- LOD A: *Oggetto simbolico*;
- LOD B: *Oggetto generico*;
- LOD C: *Oggetto definito*;
- LOD D: *Oggetto dettagliato*;
- LOD E: *Oggetto specifico*;
- LOD F: *Oggetto eseguito*;
- LOD G: *Oggetto aggiornato*.

Tabella di esemplificazione dei LOD
- A.Pavan (et. Altri): BIM metodi e strumenti, 2017, Tecniche nuove

| LOD A | LOD B | LOD C | LOD D | LOD E | LOD F | LOD G |
|--|---|---|---|---|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
| <p>Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverificale rappresentato mediante un simbolo 2D.</p> | <p>Geometria Solido generico per rappresentazione elemento architettonico verticale o pseudoverificale con forma, spessore e posizione approssimata.</p> | <p>Geometria Elemento architettonico (sistema e sottosistema) verticale o pseudoverificale rappresentato con ingombri calcolati secondo la normativa tecnica.</p> | <p>Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverificale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellate tutte le stratigrafie.</p> | <p>Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverificale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono incluse tutte le stratigrafie, i dati specifici del fornitore dei materiali e le finiture.</p> | <p>Geometria Oggetto parete.</p> | <p>Geometria Oggetto parete.</p> |
| <p>Oggetto Grafico 2D (linee e capture 2D)</p> | <p>Oggetto Solido 3D</p> | <p>Oggetto Solido 3D strutturato</p> | <p>Oggetto Solido 3D complesso</p> | <p>Oggetto Solido 3D complesso</p> | <p>Oggetto Solida parete completa</p> | <p>Oggetto Solida parete</p> |
| <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posizionamento di massima | <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Semplici geometrie di ingombro | <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spessore • Lunghezza • Larghezza • Volume • Definizione dei materiali | <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definizione stratigrafie dettagliate • Spessori componenti • Struttura • Isolamento • Camera d'aria | <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo finitura interna • Superficie finitura interna • Tipo finitura esterna • Superficie finitura esterna | <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manuale di manutenzione • Classificazione (UNI 8200, CSI, etc.) • Certificazioni di prodotto | <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Data di manutenzione |

È infatti tipico per ragioni di tempo o costi che nelle prime fasi il livello di sviluppo del modello architettonico sarà nettamente più avanzato per la parte architettonica rispetto a quella strutturale e impiantistica o che alcuni nodi costruttivi vengano rappresentati in 2D. Il ragionamento dietro questa suddivisione si basa sulla volontà di raggiungere determinati obiettivi con il modello. Come vedremo in seguito, infatti, è possibile procedere con la creazione di un determinato modello che si privi di alcune sue componenti poiché

ritenute inutili e disturbanti ai fini di una determinata analisi.

Capita infatti in alcuni casi di dover uscire dal software nel quale è stato generato il modello centrale per utilizzare altri modelli di analisi.

Condivisione/interoperabilità

La condivisione può essere intesa fra utenti o fra software. In questa tesi verrà trattata più questo secondo tipo di interoperabilità, anche se spesso i due coincidono.

Con il termine **interoperabilità** si intende la possibilità di *condivisione*, in forma celere e lineare, di dati gestiti dai componenti di un team di progettazione. Il grado di questa caratteristica viene indicato dalla rapidità di scambio e lettura di informazioni fra due applicazioni differenti e soprattutto dalla quantità di dati persi nello scambio. A tal proposito è stata anche prodotta e diffusa la norma **UNI 11337** con l'obiettivo di facilitare la circolazione delle informazioni digitali e la gestione dei processi informativi stessi. Un buon grado di interoperabilità permetterà integrazioni e modifiche eseguite con software differenti da quello che ha generato il modello principale senza errori, così da mantenere sempre aggiornate le informazioni inserite.

Il file in questione diventerà quindi una sorta di sorgente, dalla quale i differenti professionisti attingeranno per lavorare sui propri software, questi spesso molto diversificati a causa dei settori della professione.

Per far sì che i file circolino liberamente e senza barriere c'è bisogno di una standardizzazione informatica del modello. Attualmente, l'ente che si occupa dello sviluppo e promulgazione degli standard

** Inizialmente venne chiamata LAI
(International Alliance for Interoperability)*

openBIM è la **BuildingSMART***, e comprende aziende private impiegate nel settore di software a servizio dell'edilizia



** Industry Foundation Classes*

Con l'obiettivo quindi di standardizzare i dati fruibili dai vari programmi BIM, questo ente internazionale ha designato il formato di file **IFC*** come formato informatico standard, basato sulla **ISO 16739:2013** è designato ad essere il principale formato di scambio. Si tratta di un formato di file object oriented sviluppato unicamente per l'edilizia. A differenza dei precedenti standard più diffusi, DXF o DWG, l'IFC permette di portare con sé molte più informazioni connesse alla geometria. Grazie alla sua struttura gerarchica questo formato permette flessibilità nella definizione degli oggetti, in quanto ogni tipo di elemento dell'edificio eredita gli attributi usati per descrivere una classe. Ogni elemento sarà descritto da un "type" (come ad esempio *IFCdoor* per indicare che quell'oggetto è una porta), dai suoi attributi fisici e dalle relazioni che esso ha con gli elementi promiscui. *(Come l'esempio precedente è collegato al muro che la ospita)* Essendo la BuildingSMART la casa che ha prodotto questo formato è anche l'ente che certifica quali programmi riconoscono gli standard BIM.

La BuildingSMART parla del formato IFC come del PDF del BIM, ovvero un formato che rappresenta una versione congelata di un modello che mantiene modificabile la sua struttura. Lo schema dell'IFC è uno schema caratterizzato da una forte gerarchia che impone una lettura *Top-Down*. La rappresentazione dello schema è complessa ed essendo un formato pensato per la trasmissione di tutti i dati presenti nel modello bim, il file generato avrà anche un peso importante in termini di dimensioni del file.

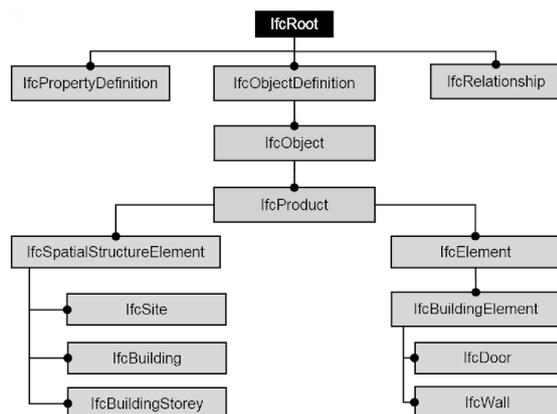


Fig. 2.3

Nella Fig 2.3 si può notare il concetto di gerarchia. L'elemento *ifcWall* ad esempio appartiene all'elemento *ifcBuildingElement*. A sua volta questo elemento appartiene all' *ifcProduct*, che viene descritto come un *ifcObject*, e così via.

Il congelamento dei dati significa che alla trasmissione da un software all'altro questi verranno riconosciuti e letti, ma non si influenzerebbero più fra di loro. Attualmente infatti non è possibile far uscire all'infuori di Revit il concetto parametrico di famiglia.*

* <http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/livre-blanc-ifc-it.pdf>

Nel corso di questa tesi verificheremo l'interoperabilità fra due software BIM attraverso l'uso di questo formato e lo paragoneremo con uno scambio basato su un altro formato molto diffuso, soprattutto nell'ambito delle simulazioni ambientali ed energetiche: gbXML.

Il **Green Building XML**, come suggerisce il nome, è uno schema basato sul formato XML volto alla rappresentazione energetica dell'edificio. Nasce negli USA nel 1999 sviluppato da Green Building Studio. Oggi rappresenta un formato di scambio standard che permette scambi di informazioni utili alla modellazione ingegneristica. Esso si differenzia infatti da quello IFC per la richiesta di definizione di Vani o Locali all'interno del modello, e comunque più in generale rende necessaria la definizione dei volumi, indispensabili per analisi energetiche. Automaticamente alla definizione dei volumi, vengono riconosciute e specificate le superfici che li delimitano. Queste operazioni avvengono generalmente al momento dell'esportazione da un programma all'altro.

Il Modello di analisi energetica (EAM)

2.3

Il modello di analisi energetica è un astrazione dell'edificio in analisi capace di catturare tutte le geometrie chiave nell'analisi dei processi di trasmissione del calore. Questo modello viene sempre indicato con l'acronimo della traduzione in inglese, *Energy Analysis Model*. A livello operativo l'**EAM** rappresenterà il modello intermedio fra quello parametrico **BIM** e quello energetico **BEM**.

Risulterà quindi necessario effettuare alcuni accorgimenti, all'interno del software BIM per evitare di incappare in problemi di interoperabilità che rallenterebbero il flusso di lavoro.

Si pone la necessità di effettuare alcune verifiche affinché si testi la bontà del modello EAM, rappresentante le corrette superfici analitiche. In seguito all'esportazione infatti il software genererà automaticamente un abaco delle aree analitiche che potranno essere confrontate con quelle del precedente modello. Analizzando lo scostamento medio fra le diverse superfici si potrà capire se gli accorgimenti utilizzati in fase di modellazione parametrica sono stati corretti o meno.

Fig 2.4
Differenza percentuale media

$$= \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{S_{EAM,i} - S_{BIM,i}}{S_{BIM,i}} \right)}{N}$$

N: numero di superfici prese in esame

S_{EAM} : superficie i-esima nel modello EAM

S_{BIM} : superficie i-esima nel modello BIM

Si ritiene accettabile una precisione compresa fra il $- 10 \%$ e il $+ 10 \%$. In caso contrario bisognerà intervenire sul modello architettonico per limitare questa differenza, entrando in un loop di correzione.

Si tratta quindi di effettuare una semplificazione del modello architettonico, andando ad eliminare tutti gli elementi inutili all'analisi e potrebbero ostacolare. Generalmente si tratta di operazioni come la risoluzione degli **Air Gaps**, L'unione degli elementi muro partizione e la gestione delle famiglie di serramenti; verranno analizzati nel quarto capitolo. Fig. 2.5

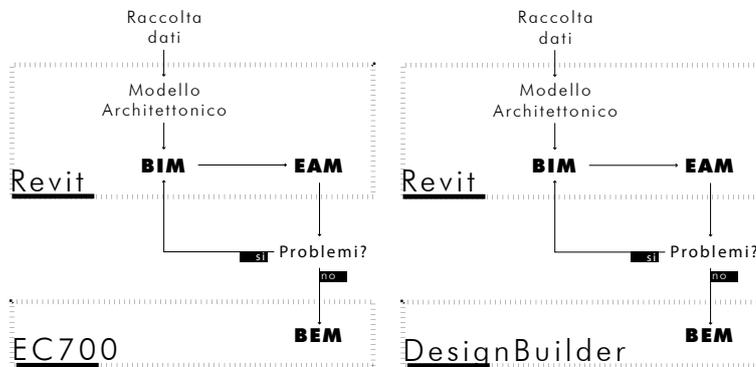


Fig. 2.5

Flusso di lavoro per validare il modello Bim per il passaggio al software che gestira il modello Bem.

Il Modello energetico (BEM)

2.4

A seguire una fase di preparazione propedeutica all'analisi energetica, preceduta da una iniziale definizione delle caratteristiche termo-fisiche e geometriche dell'edificio, è inevitabile espletare la realizzazione di un modello energetico definitivo dell'edificio. Esso nasce quindi come soluzione alla necessità di delimitare e rappresentare i dati di input che rappresenteranno la base per il calcolo energetico. Fra le altre, **il modello BEM** (*Building Energy Model*) deve assolutamente contenere informazioni sull'ubicazione del manufatto, sulle caratteristiche tecniche dell'involucro e sulle dimensioni delle zone climatizzate.

Si tratterà anch'esso, come per il modello BIM, di un modello parametrico. Si noti però che i software elaborano i dati in maniera differente e per questo si evidenzieranno, come vedremo in seguito, difformità fra i due e si presenterà la necessità di compilare nuovamente alcune informazioni.

La fase di *soltimento* precedente fa sì che il modello BEM sia una rappresentazione differente da quella realizzata inizialmente. Questa scissione dei modelli è la principale problematica di un flusso che dovrebbe essere più lineare e continuativo possibile. Andando a biforcare, sconfessando, questa linearità si va a negare i principi che animano la filosofia progettuale BIM based.

All'interno del panorama dei software BEM offerto dal mercato si possono individuare principalmente due categorie: esistono software che forniscono una interfaccia al motore di calcolo **DOE-2** e altri

che forniscono un supporto basato su un proprio motore.

Durante questo lavoro si andrà a comparare i risultati usati dall'ultima versione, la 9, del software energetico **EC700** con quelli provenienti da **DesignBuilder**. Mentre infatti quest'ultimo basa la sua metodologia sul motore DOE-2, EC700 basa il suo calcolo dinamico sulla nuova norma UNI52016, già trattata precedentemente.

EC700 è uno dei principali software offerti dalla software-house Edilclima. Questa azienda partecipa al progetto CENSE, finalizzato alla divulgazione dei metodi di calcolo implementati dalla normativa CEN, il comitato europeo di normazione.

DOE-2 è un programma sviluppato principalmente sotto finanziamento del dipartimento energetico degli USA. La piattaforma sopra il quale gira si chiama EnergyPlus. Data però la difficoltà di utilizzo di quest'ultimo esistono alcuni programmi che si propongono di fornire un aiuto nell'interfacciarsi con esso, facilitando la modellazione. DesignBuilder è uno di questi e ed è su di esso che si è scelto di fare affidamento per verificare i risultati prodotti con EC700.

Con un modello di questo tipo risulta quindi possibile integrare l'analisi energetica al processo di gestione BIM del progetto edilizio.

Metodi di calcolo della prestazione energetica degli edifici

La realizzazione di un modello numerico in grado di simulare il comportamento energetico di un manufatto può basarsi su differenti procedure, in funzione della finalità del calcolo e delle informazioni disponibili. Le metodologie utilizzabili possono essere divise in due categorie: le procedure svolte in un **regime stazionario** e quelle svolte in un **regime dinamico**. Nel regime stazionario le condizioni di calcolo vengono ritenute appunto stazionarie, ovvero costanti per un lasso di tempo pari alle stagioni di raffrescamento e riscaldamento. Se questo intervallo venisse ridotto al mese, il regime della simulazione verrebbe considerato *semi-stazionario*. In regime semi-stazionario vengono effettuati odiernamente i calcoli per la certificazione energetica e la verifica del raggiungimento dei requisiti minimi. Restringendo l'intervallo temporale della analisi fino al livello orario, si entra nel regime dinamico. Questo può essere diviso in un *dinamico dettagliato* e in *dinamico semplificato*, in base al grado di accuratezza. Inoltre con l'aumento di profondità dell'analisi vengono considerati anche altri aspetti dell'edificio, come ad esempio la sua inerzia termica. Il passaggio da un regime all'altro implica dunque un maggior livello di dati che andranno a dettagliare l'edificio. La possibilità però di effettuare un calcolo ad ogni ora, utilizzando specifiche caratteristiche al contorno tipiche di quel particolare intervallo, permette di far interagire fra loro i diversi calcoli, restituendo quindi un risultato sicuramente più attendibile.

Ad oggi, 2019, sono state rilasciate poche norme, facenti parte della serie **ISO EN 52000**, inerenti al calcolo del fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento utilizzando anche il metodo orario, le **ISO EN 52016-1** e **ISO EN 52017-1**

Fino ad oggi con la norma *UNI EN ISO 13790* veniva offerto un supporto per eseguire un calcolo semi-stazionario mensile oppure dinamico. Con l'ingresso della 52016 si cerca di andare ad affinare i precedenti metodi, semi-stazionario mensile e dinamico

orario, ritenuti troppo poco rappresentativo. La riduzione delle difficoltà per il progettista di applicare un calcolo dinamico, in teoria più complesso e più affidabile, rappresenta un tentativo degli organi legislativi di spostare il metodo utilizzato per la stesura della certificazione degli immobili e per la verifica del raggiungimento dei requisiti minimi da un sistema stazionario ad uno dinamico.

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad [\text{MJ}]$$

Esempio di bilancio invernale secondo la UNI/TS 11300-1: 2014.

Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

Il metodo **semi stazionario** prevede l'assunzione del carico termico globale come l'addizione dei carichi generati, indipendentemente, dalle principali sollecitazioni che operano sull'ambiente climatizzato. È così infatti che la temperatura esterna, le sorgenti interne, la ventilazione la radiazione solare vadano a descrivere il bilancio termico della zona.

- $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per riscaldamento; (MJ)
- $Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale tra ambiente confinato ed esterno nel caso di riscaldamento; (MJ)
- $Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel periodo di riscaldamento; (MJ)
- $Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel periodo di riscaldamento; (MJ)
- Q_{gn} sono i guadagni termici totali; (MJ)
- Q_{int} sono i guadagni termici interni; (MJ)
- Q_{sol} sono i guadagni termici solari; (MJ)
- η_{gnH} è il fattore di utilizzazione degli apporti termici;

La formula precedente ad esempio indica come il metodo semi stazionario della *UNI/TS 11300* proponga il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento invernale ed estivo. Il flusso di calore mosso dalla differenza di temperatura interna ed esterna attraverso l'involucro (Q_{tr}), il flusso dovuto alla ventilazione degli ambienti

(Q_{ve}), il carico termico dovuto dalla radiazione solare (Q_{sol}) e quello dovuto alle sorgenti interne (Q_{int}) vengono calcolati separatamente, prendendo in considerazione smesso simultaneamente le tre modalità di trasmissione del calore: conduzione, convezione ed irraggiamento.

Il **metodo dinamico**, e in parte la 52016, propone invece un differente approccio per il calcolo del carico termico utile a pareggiare l'equazione di bilancio termico volto a mantenere un ambiente ad un determinato set point di temperatura. Va specificato che i software che verranno utilizzati per la simulazione energetica dell'edificio svilupperanno il modello basandosi entrambi su procedure di calcolo dinamiche; il livello di dettaglio sarà però diverso. Energy Plus infatti, motore di calcolo di Design Builder, effettua una tipo di calcolo dinamico considerato *dettagliato*, EC700 basandosi sulla UNI EN ISO 52016 ne svolgeràà uno *dinamico semplificato*. I due metodi infatti condividono molti aspetti. Entrambe le metodologie infatti vengono considerate valide solo dopo aver assunto come vere alcune generalizzazioni. Fra queste, le principali sono:

- *La temperatura dell'aria risulta uniforme in tutti i punti della zona termica;*
- *Le differenti superfici degli elementi delimitanti la zona termica presentano una temperatura costante lungo tutta la loro superficie;*
- *La trasmissione del calore attraverso gli elementi di involucro viene assunta come mono- direzionale;*
- *Le proprietà termo fisiche dei materiali che costituiscono gli elementi di chiusura sono indipendenti dal tempo e isotopiche;*
- *L'irraggiamento viene considerato uniforme sia per alte che per basse lunghezze d'onda;*
- *La temperatura operante è una media fra la temperatura dell'aria e la temperatura media delle superfici d'involucro;*

Entrambi i metodi inoltre prendono in considerazione equazioni di bilancio lineari, andandole ad organizzare in una matrice.

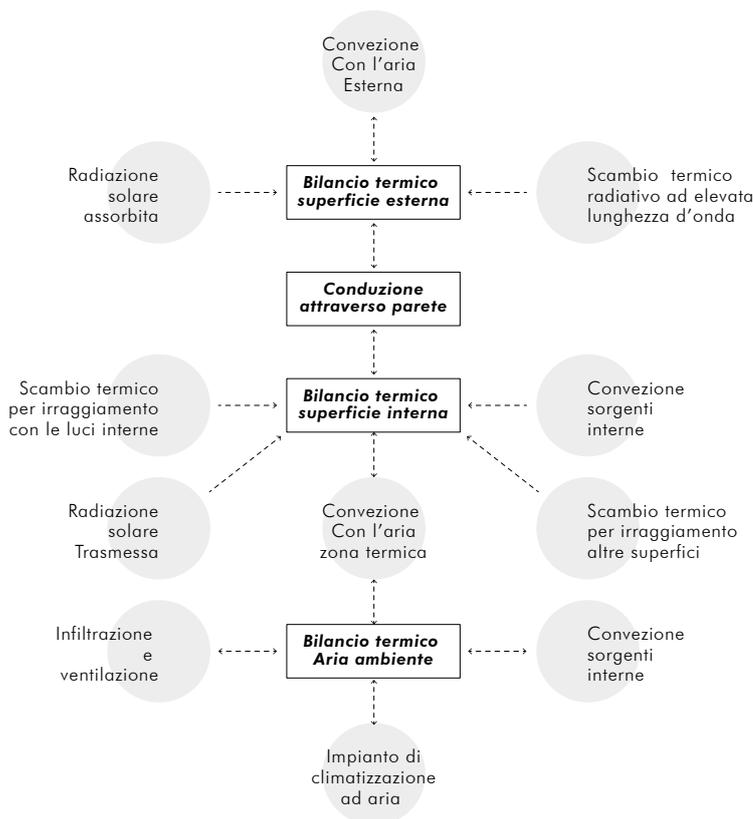


Fig. 2.6

Schema delle componenti che influiscono sui bilanci termici delle superfici e dell'aria

Nella Fig. 2.6 si possono leggere i bilanci presi in considerazione:

- Bilancio termico su aria ambiente;
- Bilancio termico superficie interna;
- Conduzione termica attraverso l'involucro edilizio;
- Bilancio termico superficie esterna.

Nella EN ISO 52016 viene enunciata una metodologia di calcolo utile quindi per l'analisi di differenti grandezze termofisiche, allo stesso modo del metodo proposto da Energy Plus. All'interno di essa infatti si trovano gli strumenti per calcolare, per ogni singola zona termica:

- *La temperatura interna su base oraria;*
- *Il carico termico di progetto sensibile e latente, su base oraria, per le due stagioni, di raffrescamento e riscaldamento;*

- Il fabbisogno sensibile su base oraria e su base mensile;
- Il fabbisogno latente per umidificazione e deumidificazione su base orarie e su base mensile;
- Le condizioni dell'aria in ingresso nei locali, utili ad eventuali azioni di umidificazione e deumidificazione;

L'equazione di bilancio a livello della zona è la seguente:

Equazione di bilancio termico dell'aria
nella UNI EN ISO 52016-1

$$\begin{aligned} & \left[\frac{C_{\text{int};ztc}}{\Delta t} + \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot h_{ci;eli}) + \sum_{vei=1}^{ven} H_{ve;vei,t} + H_{tr;tb;ztc} \right] \cdot \theta_{\text{int};a;ztc;t} - \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot h_{ci;eli} \cdot \theta_{\text{pln};eli,t}) \\ & = \frac{C_{\text{int};ztc}}{\Delta t} \cdot \theta_{\text{int};a;ztc;t-1} + \sum_{vei=1}^{ven} (H_{ve;vei,t} \cdot \theta_{\text{sup};vei,t}) + H_{tr;tb;ztc} \cdot \theta_{e;a,t} \\ & + f_{\text{int};c} \cdot \Phi_{\text{int};ztc;t} + f_{\text{sol};c} \cdot \Phi_{\text{sol};ztc;t} + f_{\text{H/C};c} \cdot \Phi_{\text{HC};ztc;t} \end{aligned}$$

$C_{\text{int};ztc}$: Capacità termica della zona; [J/K]

Δt : Intervallo di tempo; [s]

$\theta_{\text{int};a;ztc;t}$: Temperatura dell'aria interna; [°C]

$\theta_{\text{int};a;ztc;t-1}$: Temperatura aria interna all'intervallo precedente; [°C]

A_{eli} : Area dell'elemento eli ; [J/K]

$h_{ci;eli}$: Coefficiente interno di scambio convettivo; [W/m².K]

$\theta_{\text{pln};eli,t}$: Temperatura superficie interna dell'elemento eli ; [°C]

$H_{ve;k;t}$: Coefficiente di scambio termico per ventilazione; [W/K]

$\theta_{\text{sup};k;t}$: Temperatura del flusso di ventilazione k ; [°C]

$f_{\text{int};c}$: Frazione convettiva degli apporti interni;

$f_{\text{sol};c}$: Frazione convettiva della radiazione solare;

$f_{\text{H/C};c}$: Frazione convettiva del sistema di climatizzazione;

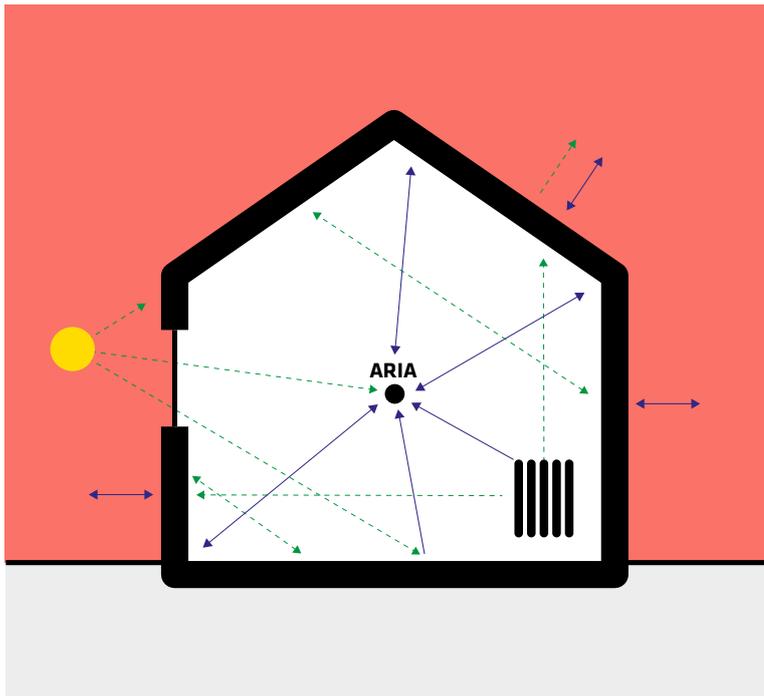
$\Phi_{\text{int};ztc;t}$: Totale apporti interni; [W]

$\Phi_{\text{HC};ztc;t}$: Totale carico termico dell'impianto; [W]

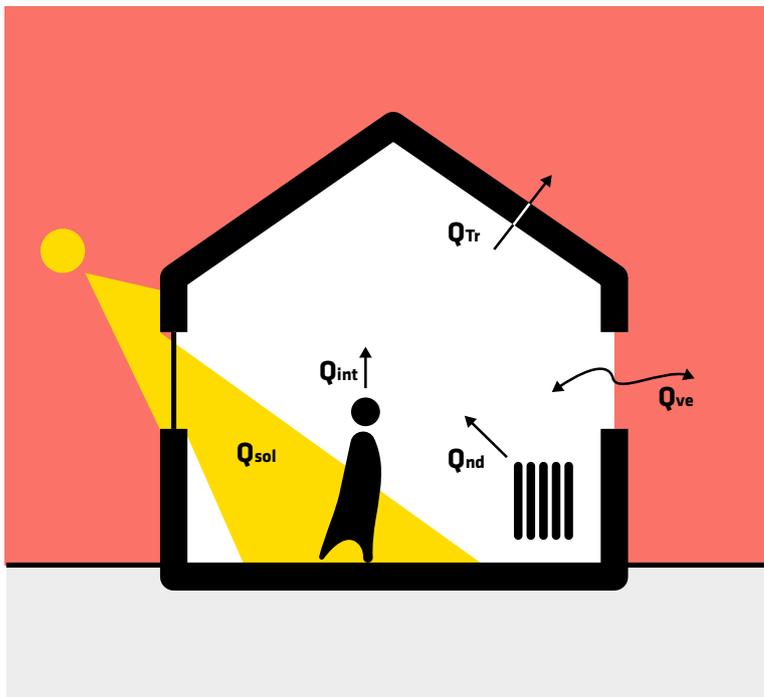
$\Phi_{\text{sol};ztc;t}$: Totale degli apporti solari; [W]

Fig. 2.7

Confronto fra le dinamiche termiche in un regime dinamico (in alto) e in uno stazionario (in basso);



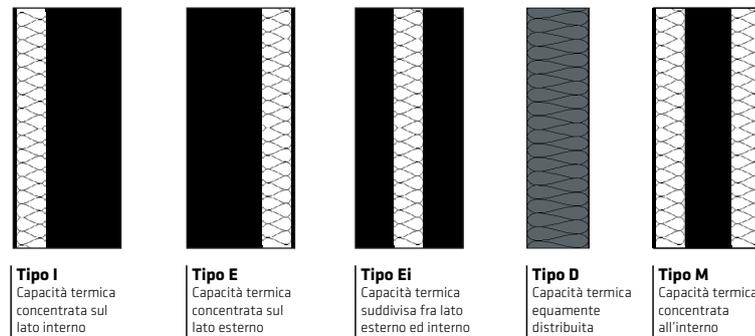
←→ Convezione
←- - - - - Irraggiamento



Q_{sol} = Apporti solari Q_{int} = Apporti Interni Q_{nd} = Carico da impianto
 Q_{ve} = Scambio termico per ventilazione Q_{Tr} = Scambio termico per trasmissione

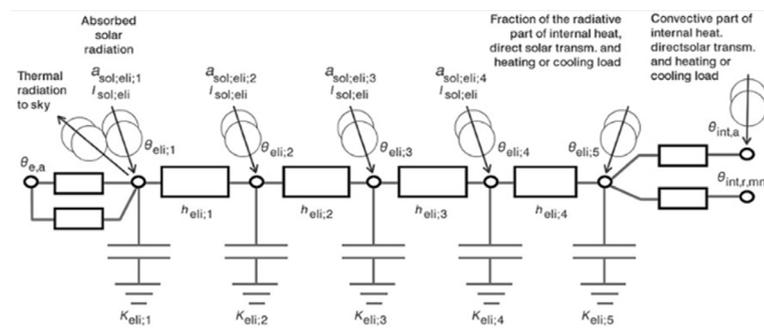
Per le strutture opache non viene descritta la loro stratigrafia reale, ma viene idealizzata in tre strati convenzionali. Questo aiuta ad applicare il nuovo metodo orario senza essere a conoscenza dell'esatta composizione della struttura Fig. 2.8.

Fig. 2.8
Riconoscimento delle strutture opache
in base al posizionamento della massa
termica, secondo la
UNI EN ISO 52016-1



Il metodo di calcolo dinamico proposta questa norma è infatti basato su di un modello a parametri concentrati Resistenza-Capacità. Ogni elemento disperdente viene idealizzato come un circuito costituito da massimo 5 nodi.

Fig. 2.9
In rosso i 5 possibili nodi di un elemento
disperdente opaco
UNI EN ISO 52016-1



Per le strutture trasparenti verranno prese in considerazione solo due superfici superficiali, interna ed esterna e verrà trascurata la capacità termica del vetro.

Per quanto riguarda la definizione degli impianti si può scegliere, in base alla quantità di informazioni in nostro possesso, se svolgere il calcolo con un impianto basico o con uno specifico.

Rispetto alla precedente UNI EN ISO 13790 cambia la definizione di zona termica. Per ciascuno spazio infatti va definita una categoria,

in base alle attività interne, che permette di accorpate due o più ambienti aventi le stesse categorie. Possono combinarsi anche zone termiche climatizzate adiacenti se le condizioni termiche d'uso sono uguali o simili. Inoltre, è possibile unire zone termiche non climatizzate purché adiacenti.

Il regime *dinamico dettagliato* impiegato da Energy Plus differisce da quello semplificato appena descritto per tre principali considerazioni:

- La massa e la resistenza termica degli elementi, non viene uniformamene distribuita a livello di edificio. Non sarà quindi possibile scegliere fra diversi classi offerte. Fig. 2.9
- Le proprietà degli elementi trasparenti sono dipendenti dall'angolazione solare. Il totale dell'energia solare incidente non viene considerato come totalmente trasmesso nella zona termica;
- La temperatura media radiante viene calcolato pesando le differenti superfici, tenendo inoltre in conto la loro posizione e orientamento;

L'equazione di bilancio della per l'aria all'interno della zona termica utilizzata in Energy Plus è la seguente:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{el}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{sur\ faces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zone\ s}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys}$$

Equazione di bilancio termico dell'aria impiegata in EnergyPlus

- $\sum_{i=1}^{N_{el}} \dot{Q}_i$: Totale dei carichi convettivi; [W]
- $\sum_{i=1}^{N_{sur\ faces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$: Calore scambiato per convezione dalle superfici della zona; [W]
- $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$: Calore trasmesso attraverso le infiltrazioni di aria esterna [W]
- \dot{Q}_{sys} : Calore immesso in ambiente dall'impianto di climatizzazione; [W]
- $C_z \frac{dT_z}{dt}$: Energia accumulata nell'aria in ambiente; [W]



3

Il caso studio

Il Quartiere

3.1

* Russo Ermolli, S. and D'Ambrosio, V. (Ed.) (2012), *The building retrofit challenge. Programmazione, progettazione e gestione degli interventi in Europa*, Alinea, Firenze

* Di Biagi, P. *La città pubblica: edilizia sociale e riqualificazione urbana a Torino*. Torino: Allemandi. 2008

Intorno al 2060, oltre il 90% degli immobili sul territorio europeo saranno edifici che già oggi, 2019, sono in uso* e soltanto il 5% saranno edifici ad oggi inesistenti. Nonostante sia stato costruito in un breve lasso di tempo, questo enorme patrimonio è costituito da immobili molto eterogenei per età, localizzazione, caratteristiche costruttive e stato di conservazione e ne conseguiranno quindi differenti strategie da adottare per adeguarne le prestazioni energetiche alle sempre più stringenti esigenze.

In Italia sotto l'iniziativa del piano **Ina-Casa** si costruirono dal 1949 al 1963 355 000 alloggi*, destinati a soddisfare l'alta domanda di case per lavoratori che andranno a costruire l'Italia del boom economico. Il piano Ina-Casa non è l'unica forma di incentivo all'edilizia popolare che è stato attuato negli anni. Gli enti pubblici come **Iacp** e **Gescal** infatti andranno avanti nella loro attività edile fino agli anni 90. Nonostante gli edifici di edilizia popolare siano nati di proprietà pubblica, in seguito a formule di contratto di locazione a riscatto nel corso degli anni oltre il 70% delle unità realizzate non appartiene più al parco edilizio pubblico.

Nel nostro paese le esigenze che portano gli organi di governo a varare nel 1949 i piani per la casa hanno una natura spiccatamente assistenzialista. Al bisogno di residenze per le fasce più deboli della popolazione si affianca la necessità di dare occupazione a queste stesse fasce. Il Piano INA casa aveva quindi il secondo fine di promuovere l'occupazione di manodopera non specializzata e in esubero. Si

assiste in questo periodo alla nascita di molte piccole aziende edili, composte da operai che verranno assorbiti successivamente, negli anni Sessanta, dall'industria meccanica. Questo piano, denominato dal suo promotore politico "*piano Fanfani*", di svilupperà in due stagioni dalla durata di sette anni ognuno, terminando nel 1963. In questa data è anche la data di approvazione della **legge 167**, una legge che permetteva ai comuni l'esproprio dei terreni per pubblica utilità attraverso l'acquisto di aree fabbricabili per importi corrispondenti al valore antecedente alla legge, per poi riassegnarle a enti pubblici, cooperative private e in alcuni casi a privati, escludendole quindi dalla speculazione fondiaria. La 167 venne supportata a livello comunale da piani attuativi che in accordo al PRG di ogni città andava a designarne e modificarne aree interne, i cosiddetti **PEEP** (*Piano di Edilizia Economico Popolare*).

Se nella prima stagione di edilizia pubblica in Italia, quella dei due settenni di INA-casa, viene preferita un'edilizia più tradizionale per dar modo al mercato del lavoro di assorbire mano d'opera non specializzata, nel secondo periodo inaugurato dalla legge 167 si cerca, anche grazie al maggiore possibilità di guadagno economico reso possibile dal poter disporre di grandi aree, di spingere verso metodi più moderni, ottimizzati e razionali.

La prefabbricazione edilizia e l'industrializzazione sono due approcci costruttivi che si presentano con un certo ritardo nel nostro paese rispetto ad altri europei. Già nell'immediato secondo dopo guerra infatti in Francia e in altri paesi si nota l'adozione di questi sistemi nell'edilizia popolare. L'uniformazione, alla base dello sviluppo industriale dell'attività edile, investe sia progettazione che la costruzione. Nel tentativo di ridurre tempi, e quindi costi, della fase progettuale e di cantiere vengono normati tutti gli aspetti che accompagnano l'iter costruttivo. La Gescal diffonderà infatti delle norme tecniche che disciplineranno "*dimensioni, modalità, caratteristiche e tempi degli appalti da definirsi tenendo presente la possibilità di raggruppare più interventi in un unico progetto e in un unico appalto, per tenere conto delle*

** art.8 delle Norme tecniche di esecuzione delle costruzioni con speciale riferimento alla progettazione, Legge 60/1963*

*possibili economie di costruzione in relazione al grado di industrializzazione delle imprese e alle caratteristiche costruttive ed esecutive degli edifici”**.

L'area Sud di Torino avrà differenti lotti che ricadranno nella designazione dei Peep durante gli anni '60 e '70. Fra questi si individua il quartiere di **Mirafiori Sud**, quartiere che ospita il l'edificio caso studio di questa tesi.

Mirafiori Sud

Il quartiere ospitante il caso studio è Mirafiori, nello specifico Mirafiori Sud. A livello di organizzazione comunale fa parte della circoscrizione 2 e prende il nome da un antico castello, caduto in rovina nel XIX secolo ed oggi scomparso, appartenuto al duca Carlo Emanuele I di Savoia dal 1585.

A sud il quartiere è delimitato dal Torrente Sangone, che segna anche un confine naturale della città; a ovest la tangenziale torinese, gli impianti produttivi e il cimitero Parco lo separano nettamente dalle borgate di Beinasco, mentre nei fronti nord e est il quartiere si connette alla città, allacciandosi senza soluzione di continuità al quartiere Lingotto attraverso arterie viarie fondamentali come Corso Orbassano, Corso Unione Sovietica e Corso Unità d'Italia.

Da dove viene

Ad inizio Novecento il quartiere aumenta la sua rilevanza da quando si insediano le officine aeronautiche e l'aeroporto di Torino Mirafiori, che verrà dismesso nel 1953 restituendo all'area il parco pubblico Colonnetti.

Fig. 3.1

Posizione del quartiere e del caso studio rispetto alla città e al suo centro

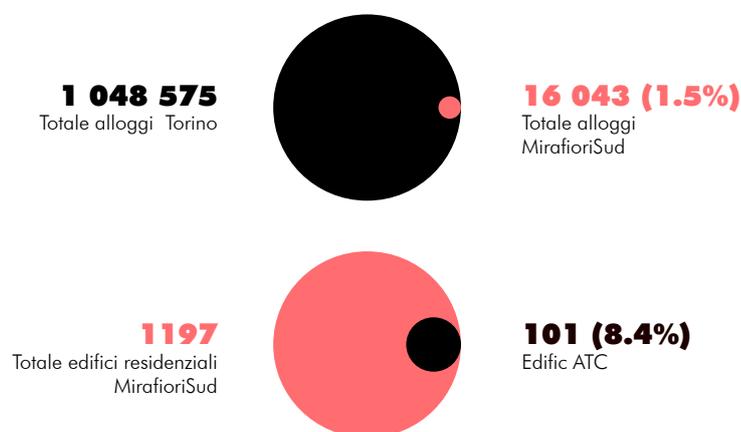


* https://it.wikipedia.org/wiki/Fiat_Mirafiori

Nell'estremo sud della periferia torinese nel 1936 la **FIAT** apre il suo principale stabilimento produttivo, posizionando l'ingresso principale davanti a quello che poi diventerà Corso Traiano e andando negli anni ad occupare una superficie pari a 2.000.000 m²*. Negli anni 70 l'azienda ha una talmente grande forza economico-produttiva da attirare lavoratori da tutta Italia, lavoratori che andranno quasi a raddoppiare la popolazione della città. In quegli anni infatti gli abitanti di Torino passano da 3000 a 40000. Nel **1962** il Comune autorizza l'implementazione del piano **"Torino Casa"** che supportato da società come IACP, GESCAL e poste porterà alla costruzione di 17000 nuovi alloggi. Fig.3.2

Fig. 3.2

La presenza odierna di edifici ATC (ex Gescal) rispetto alla popolazione degli edifici del quartiere.



La fulminea e diversificata crescita demografica supportata da un non idoneo, se non inesistente, e non consolidato tessuto urbano porta con se inevitabili attriti e problematiche sociali. La posizione



isolata, la funzione dormitorio e il basso reddito pro capite degli abitanti fanno sprofondare *Via Artom*, *Via Roveda* e tutto il quartiere in un vortice degradante e marchiando la zona con una connotazione negativa.

In quegli anni la città si animava in base ai turni degli operai che vi lavoravano* e ancora oggi risulta complicato separare il nome del quartiere da quello dello stabilimento, nonostante vicissitudini di diversa natura hanno ridotto la forza produttiva e ridimensionato l'interdipendenza fra fabbrica e città. Il quartiere durante gli anni 90 è quasi rimasto orfano della sua attività principale, in seguito a delocalizzazioni produttive e da allora il comune cercato di mettere in atto diverse strategie di riabilitazione dell'area all'interno di progetti più ampi di riqualificazione urbana delle periferie*. I tentativi di cambiamento funzionale dell'area e dell'intorno sono tuttavia incompleti. Il 2006 fu un'altra occasione, fallita, per risollevare il quartiere in occasione delle *Olimpiadi Invernali*. L'area rappresenta la difficoltà della città stessa di completare il processo di riconversione.

* F. Guiati, E. A. Savio,

Mirafiori sud: Vita e storie oltre la fabbrica, 2004

* Ad esempio il Piano di Recupero

Urbano (PRU) e lo Sportello sociale

AxTO



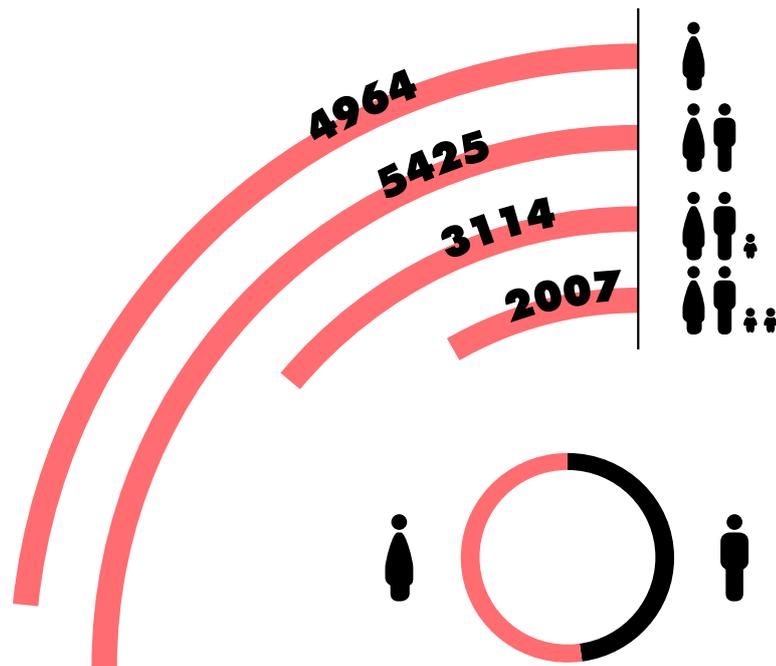
Fig. 3.3

TimeLine dei principali eventi che hanno inciso sull'essenza del quartiere.

Mirafiori oggi

Oggi Mirafiori Sud ha mantenuto quasi completamente inalterato il suo aspetto esteriore; il suo interno invece, i suoi abitanti sono cambiati con il passare del tempo. Le tipologie di risiedenti odierni sono due: residenti stabili e residenti momentanei. La maggior parte di chi aveva popolato il quartiere in funzione dell'essere operaio, in particolare operaio Fiat, è rimasto a trascorrere la sua vecchiaia nel quartiere. Chi aveva ricevuto tramite graduatorie il diritto all'uso di uno di questi alloggi con il tempo ne è diventato proprietario. La famiglia, Fig 3.4 spesso numerosa, creata in quegli anni, come spesso capita, si divide con il raggiungimento della maturità dei figli, che si separano dai genitori. Data l'insufficienza di proposte e la debole forza attrattiva dell'area i più giovani cercano sistemazioni altrove.

Fig- 3.4
I diversi nuclei che formano
gli abitanti di Mirafiori Sud
Dati Istat circoscrizione 2
Torino, 2018



Si trova qui infatti una delle più alte medie anagrafiche della città (*Mirafiori Sud in numeri. 2018*), un dato tenuto basso principalmente dall'altra tipologia di residenti, quelli momentanei. Questi sono

accolti a Mirafiori da due realtà sociali molto presenti sul territorio: *Alloggiarmi* e la *casa del mondo*. La prima è una organizzazione volta al supporto nella ricerca di una sistemazione a prezzi agevolati a studenti universitari stranieri mentre la seconda si occupa di sostenere e ospitare persone provenienti da altri paesi in qualità di richiedenti asilo in attesa di una sistemazione definitiva.

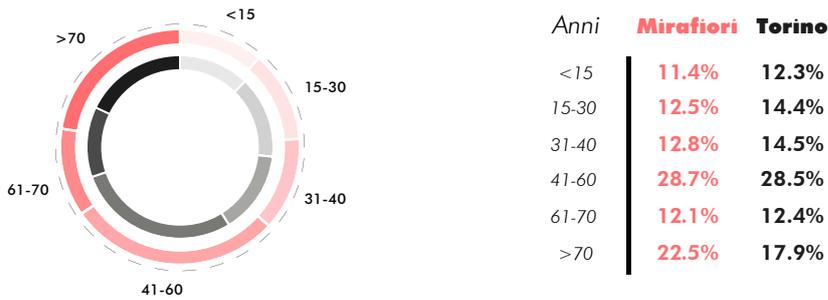


Fig. 3.5
Età degli abitanti del quartiere rispetto a quella della città. Dati Istat circoscrizione 2 Torino, 2018

Negli ultimi anni si può vedere però una leggera controtendenza per quel che riguarda gli abitanti stabili. Molte famiglie straniere, spesso numerose, attratte dalle grandi metrature degli alloggi e dai canoni di locazione particolarmente bassi si sono spostate a Mirafiori Sud.

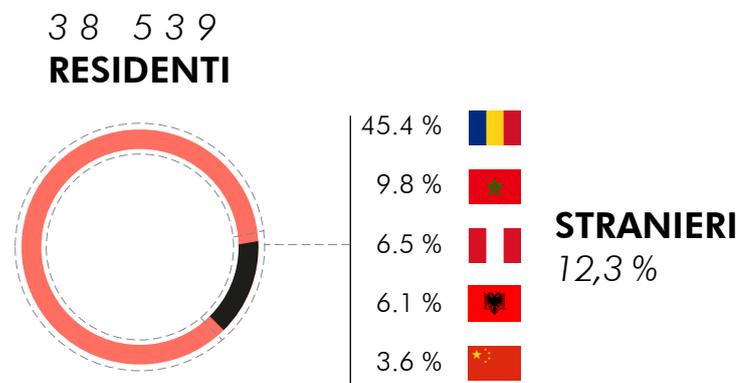


Fig. 3.6
Provenienza della componente straniera della popolazione del quartiere, Mirafiori Sud in numeri. 2018

Il costruito

All'interno dello stesso quartiere emergono diverse zone edificate suddivise dalla presenza di barriere urbanistiche come il Parco Colonnetti e Corso Unione Sovietica. Cinque sono infatti le micro aree che emergono per da una divisione che non è amministrativa ma scandita da differenze di epoca di costruzione, di composizione dei residenti e immagine sociale; non è raro incontrare abitanti di queste zone manifestare uno specifico senso di appartenenza al proprio territorio.

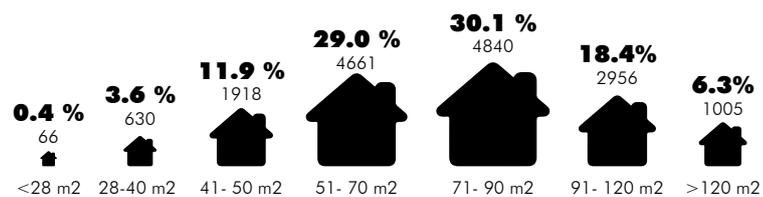
Le aree sono denominate:

- *Mirafiori Sud*
- *Cime Bianche/Villaggio*
- *Strada della cacce*
- *Borgata Mirafiori*
- *Basse Lingotto*

Come accennato in precedenza il quartiere mirafiori in generale deve gran parte della sua genesi ai piani di edilizia popolare (PEEP) degli anni 60'. Salvo alcune modifiche e varianti, le aree del PEEP M22, M23 e M24* diventeranno le odierne cime bianche, basse di Lingotto.

* *Esplorazioni Nella Città Dei Ceti Medi Torino 1945-1980.*

Fig- 3.7
Mirafiori Sud in numeri. 2018

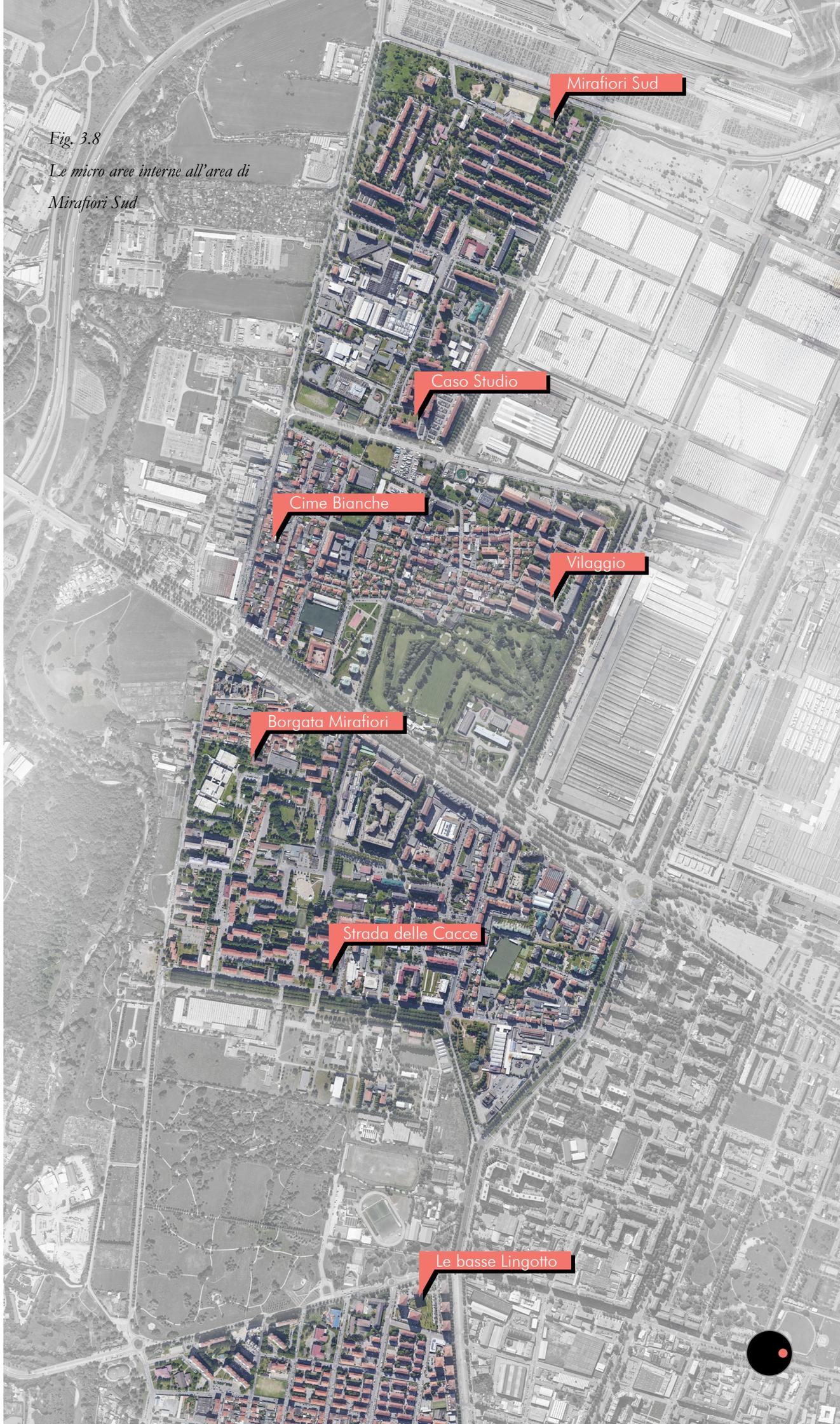


Estensione delle unità abitative a Mirafiori Sud

Il blocco di mirafiori Sud viene diviso in 3 diversi nuclei, coprendo una superficie complessiva di 400'000 m2.

Fig. 3.8

Le micro aree interne all'area di
Mirafiori Sud



L'intervento, di natura quasi esclusivamente residenziale si articola su 3 nuclei composti di diversi lotti orbitanti attorno ai servizi comuni. Lo schema infatti appartiene all'idea urbanistica di progettare i nuovi agglomerati urbani, nuovi borghi, come entità indipendenti e auto sufficienti, fornendo agli abitanti tutto il necessario liberandoli dall'esigenza degli spostamenti.

Si noti come i servizi, intesi come commercio, scuole, chiese e altre attività vengano posti al centro dei diversi nuclei



Il primo nucleo del quartiere Mirafiori Sud viene appaltato nel **1962**. È una gara simile per dimensioni al vicino quartiere INA-casa di corso Sebastopoli, ma per la concentrazione dei tempi costruttivi è chiara la volontà questa volta di voler evitare sistemi tradizionali. Il sistema che vincerà sarà il Barets, proposto dall'impresa ing. Franco Borini, Figli e C. di Torino, concessionaria del brevetto francese. Per ridurre i costi di trasporto i pannelli prefabbricati vengono prodotti a piè d'opera. Gli elementi planari in facciata possono essere portanti, non portati o autoportanti. Quelli portanti costituiranno l'appoggio per i solai. Lo spessore è di 25 cm e la lunghezza varia da 3 a 7 m. Due lastre di nervature in calcestruzzo sono divise da un sottile strato di polistirolo espanso e rifinite con tavelline laterizie all'esterno e intonaco verso l'interno. I lati superiori e inferiori sono predisposti per ricevere i solai e per unirsi ai pannelli contigui. I pannelli-parete interni sono formati da una lastra piena in calcestruzzo armato di

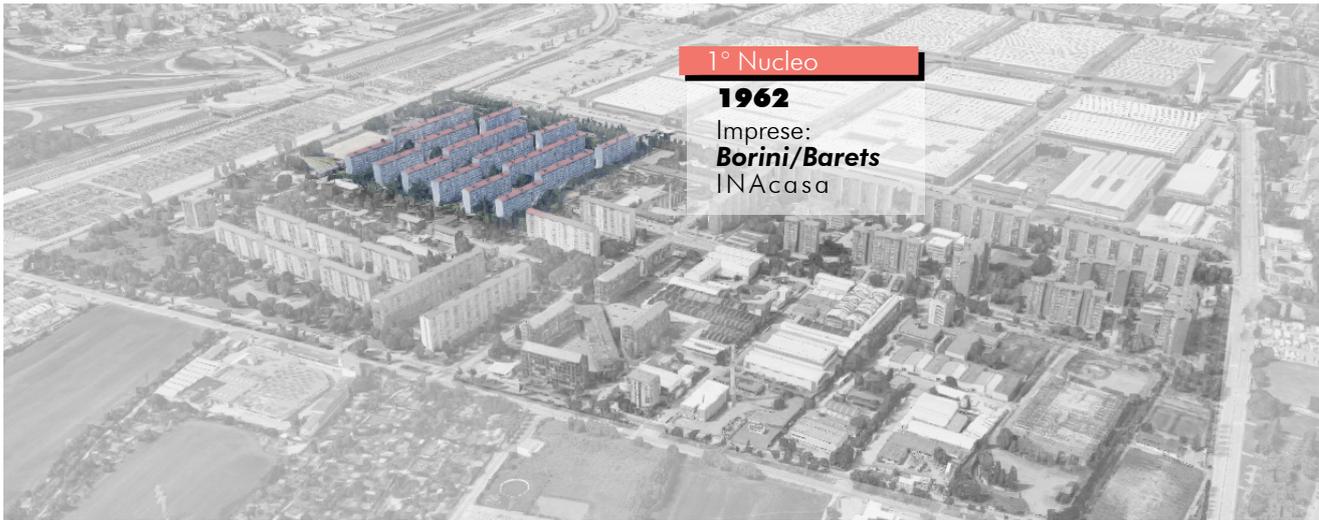


Fig. 3.8
Divisione dei nuclei nel lotto del caso studio;

spessore variabile in base a se avranno un ruolo di controventamento o solo di partizione interna. Il solaio potrà essere a lastra piena o alleggerita con blocchi di laterizi.

I vantaggi del sistema sono l'eliminazione di operazione di rifinitura interna e di posizionamento delle opere impiantistiche. La casseratura dei pannelli avviene attraverso stampi di acciaio adattabili alle dimensioni.

Tra il 1963 e il 1967 verranno realizzati quindici edifici del quartiere Gescal in Via Roveda, appartenente al primo lotto. Fig. 3.8

Per il secondo e terzo nucleo (quest'ultimo è lo stesso nucleo nel quale si ritrova il caso studio analizzato conseguentemente) l'azienda vincitrice dell'appalto è la **Co.Im.Pre.**,* promotrice del sistema svedese Ohlsson & Skarne e diventandone possessore del brevetto in Italia. Lastre verticali piene in calcestruzzo armato portanti verticali di 14 e 20 si uniscono a solai orizzontali portanti tramite colate di calcestruzzo che rende il tutto uniforme e simile ad un telaio. Per le chiusure di involucro si prospetta principalmente una stratigrafia composta da una lastra di cls esterno di 5 cm, una di polistirolo di 5 cm e un ultimo pannello portante armato di 14 cm. Il sistema contempla la predisposizione dei blocchi impianti nelle pareti interne verticali mentre i pannelli di rivestimento sono progettati per ospitare i controtelai dei serramenti. I pannelli solaio di 20 cm vengono uniti tramite colata di cls in opera così da creare quasi un monolite per ogni piano.

* Gibello, Luca, Paolo Mauro Sudano, and Francesco Dolza. Francesco Dolza L'architetto E L'impresa. Torino: Celid, 2002.

* (cit. Prefabbricazione e edilizia socialea Torino tra 1960 e 1980, E Garda, M Magnosio)

*“Lo sperimentalismo senza sperimentazione che caratterizza questa prime esperienze determina nelle soluzioni distributive la predominanza delle istanze di tipo strutturale su quelle di tipo funzionale, con l'unica possibilità di ovviare alla monotonia del passo strutturale attraverso una minima articolazione dei prospetti”**.

Via Quarello 4B

3.2

Per dieci piani fuori terra l'edificio sviluppa una pianta dove i tre appartamenti di ogni livello, alternandosi fra due tipologie, ruotano attorno al vano scala centrale. È quest'ultimo elemento che grazie alle due strisce di U-glass necessarie per illuminare gli spazi comuni al suo interno, dona al prospetto dell'edificio la sua nota più piacevole. Per quasi la totalità del complesso edilizio i blocchi sono composti da due scale indipendenti affiancate identiche ma non speculari. Le tipologie che compongono gli edifici del blocco sono due: A e B. Fig. 3.9.

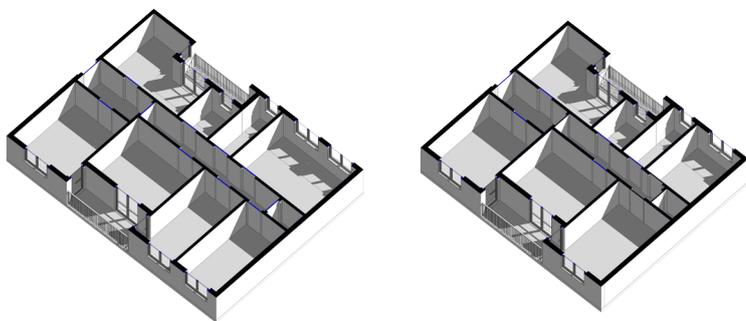


Fig. 3.9
Tipologia A (a sinistra) e B (a destra)



Fig. 3.10
Distribuzione delle tipologie dell'appartamento all'interno dei blocchi. In nero vengono evidenziati gli edifici composti dal blocco B, mentre in rosso quelli dalla tipologia A.

In principio si ipotizzava una centrale termica unica per i vari blocchi. L'attacco a terra è rialzato per permettere alle cantine sottostanti l'entrata di luce e dare maggiore privacy e sicurezza ai primi piani.

Lo spazio aperto ha subito enormi e significativi cambiamenti rispetto al progetto originale, firmato dagli architetti **G.Barba Navaretti, C. Decker e F. Dolza**. Il disegno degli spazi comuni, seppur non di una eccessiva complessità è stato, per ragioni economiche, ridotto al minimo e semplificato nelle sue forme. Le differenti quote che avrebbero dovuto movimentare il verde sono state unificate in un unico livello, livello sul quale oggi insistono diversi garage privati, anche quest'ultimi non previsti nel progetto originario. L'area parcheggio era infatti spoglia di limitazioni, mentre negli anni '80 iniziative indipendenti hanno portato la costruzione di box auto prefabbricati a chiudere la visuale e creare luoghi dove il pubblico e il privato di mischiano in una promiscuità inquietante

L'edificio oggetto di analisi è sito in **Via Gioachino Quarello 4b**.



Gli appartamenti sono di una unica tipologia che prevedeva 4 camere un soggiorno una cucina e due bagni. Fig. 3.9. I bagni e la cucina sono confinanti così da poter ottimizzare le tubazioni e ospitare lo scarico dell'immondizia che da ogni piano dell'edificio veniva raccolta attraverso un condotto che porta al punto di raccolta nel piano cantine. In particolare, questo sistema è andato sparendo negli anni in quanto la raccolta dei rifiuti avviene indipendentemente per ogni condomino.

L'edificio oggetto di analisi è orientato **Est/Ovest**. L'orientamento dell'edificio è ottimale alle buone pratiche di disposizione degli ambienti interni degli alloggi, in quanto sul fronte est troviamo le zone notte e soggiorno mentre a sudovest è posizionata la zona giorno e i bagni. Tuttavia, questa è una situazione fortuita e sporadica poiché la particolare forma della pianta degli edifici costringe alcuni appartamenti ad un'esposizione solare decisamente sfavorevole.

Per la definizione delle caratteristiche dell'involucro e delle partizioni interne dell'edificio è stato svolto un lavoro di analisi e ricerca incrociando le informazioni dei sistemi costruttivi usati per gli altri edifici del nucleo e con quello utilizzato dall'azienda edile incaricata dell'opera: la Co.Im.Pre.

Data la tipologia di analisi, inoltre, si rinuncia a restituire una fedele ricostruzione dello stato di fatto dei serramenti, poiché questo comporterebbe un enorme sforzo nel rilievo di ogni appartamento, cosa che oltretutto non arricchirebbe un'analisi volta a testare non lo stato di fatto dell'edificio ma la metodologia di analisi dello stesso. Verrà quindi ipotizzata una tipologia di serramento verosimile a quella originale, applicata ad ogni unità immobiliare.

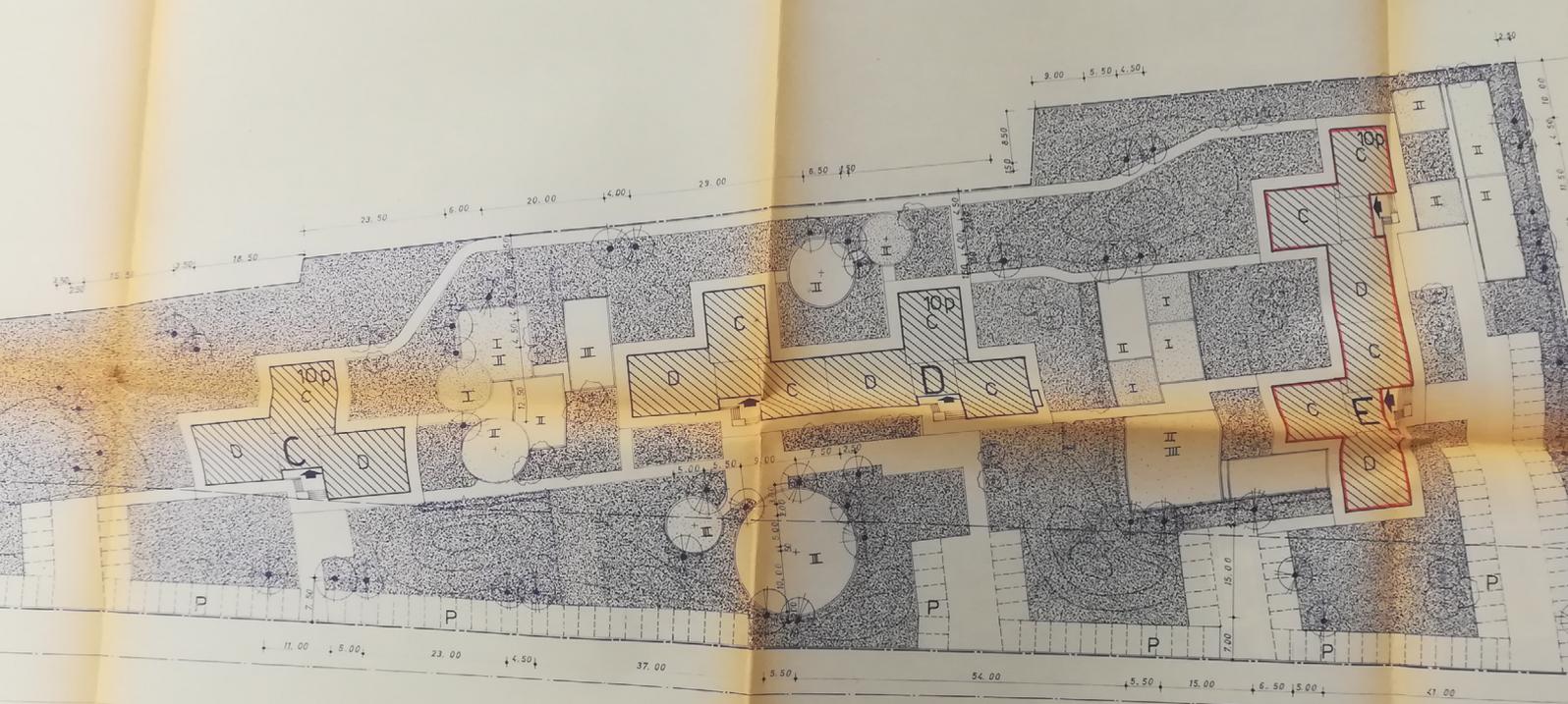
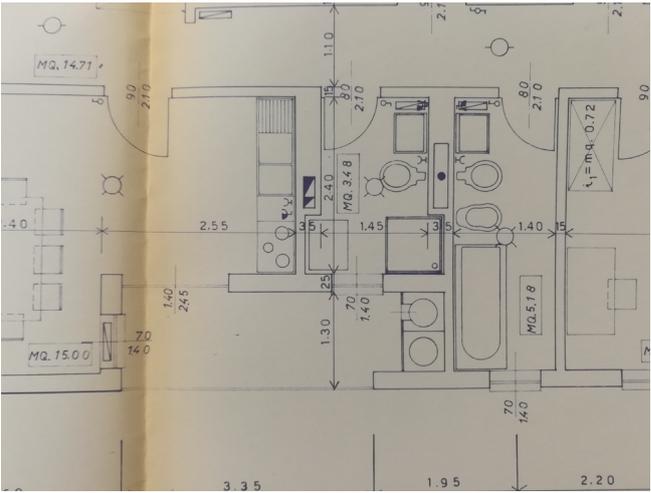
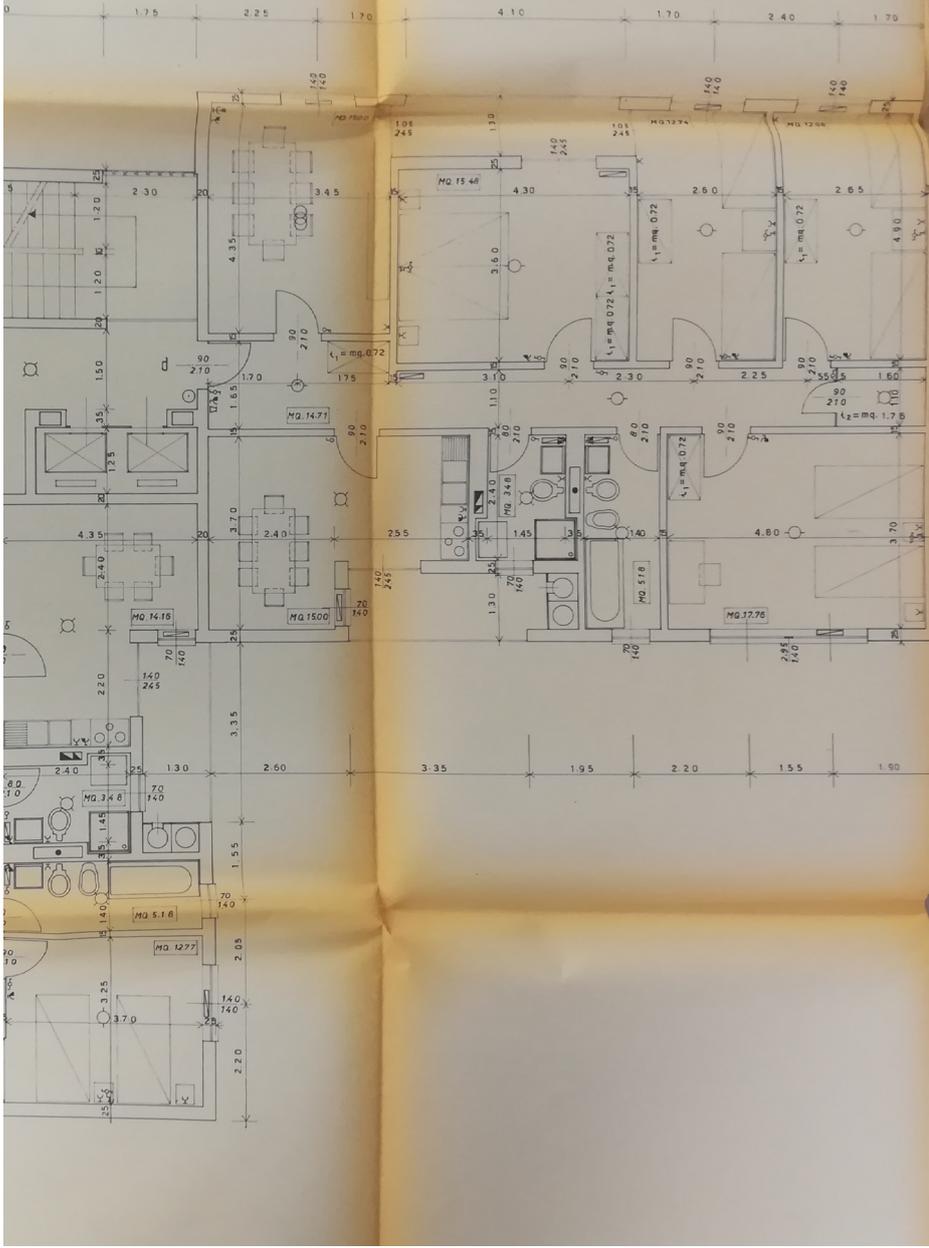
La genesi che ha portato alla nascita di questo blocco, che compone un intero quartiere, è la medesima di molti altri nelle periferie (e non) delle città italiane. Inoltre gli edifici costruiti dal secondo dopo-guerra agli anni ottanta, come quello del caso studio, rappresentano il più della metà del patrimonio edilizio del nostro paese. Queste considerazioni mi hanno quindi spinto a scegliere questo edificio come caso studio, essendo una delle tipologie residenziali più diffuse per dimensioni e caratteristiche costruttive.

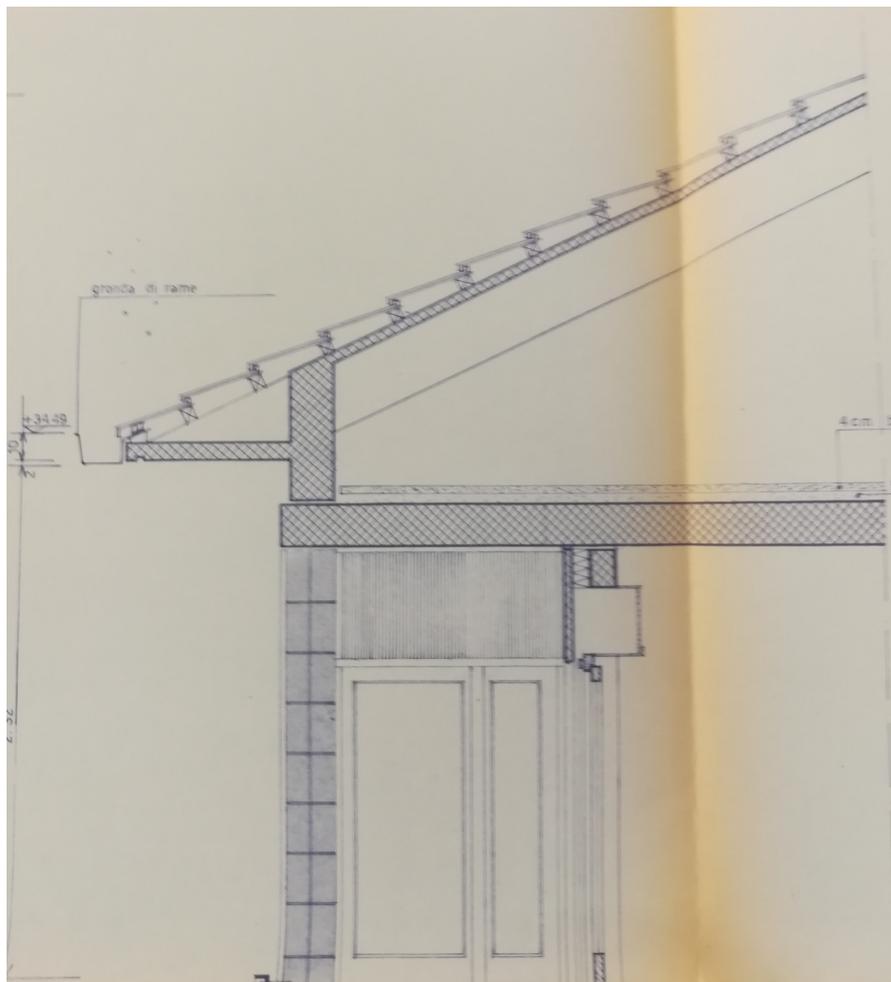
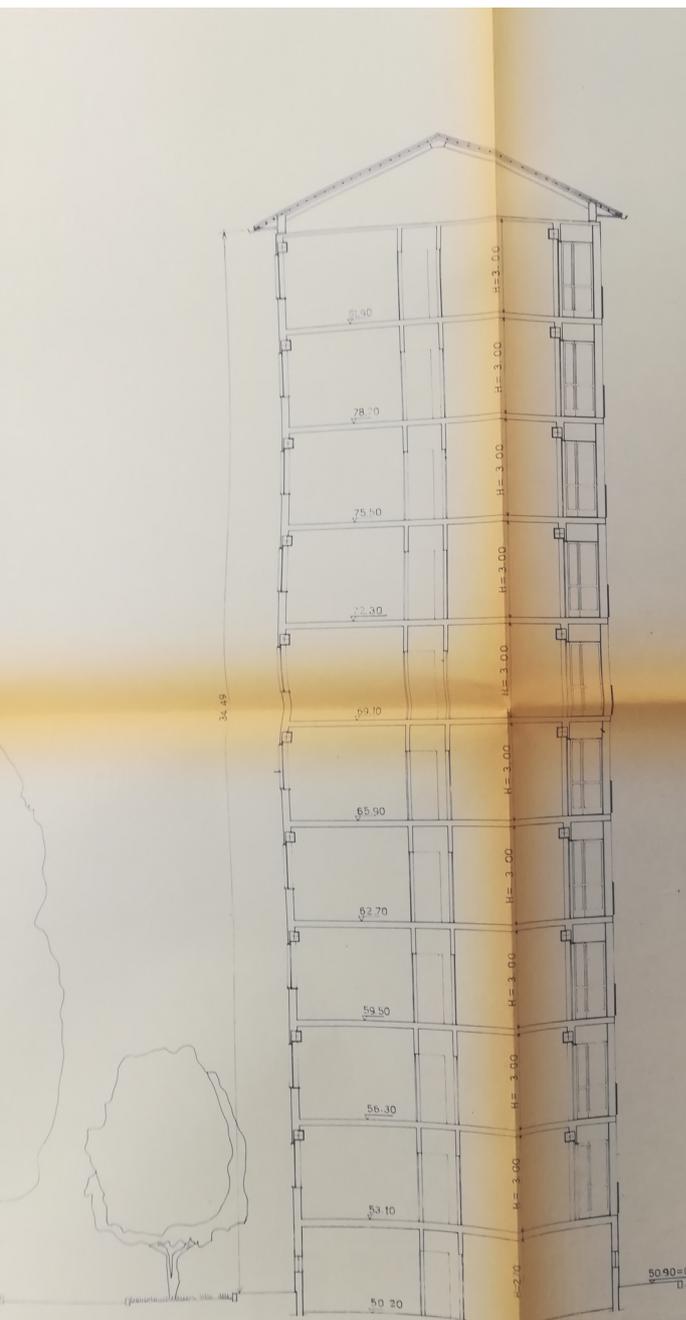
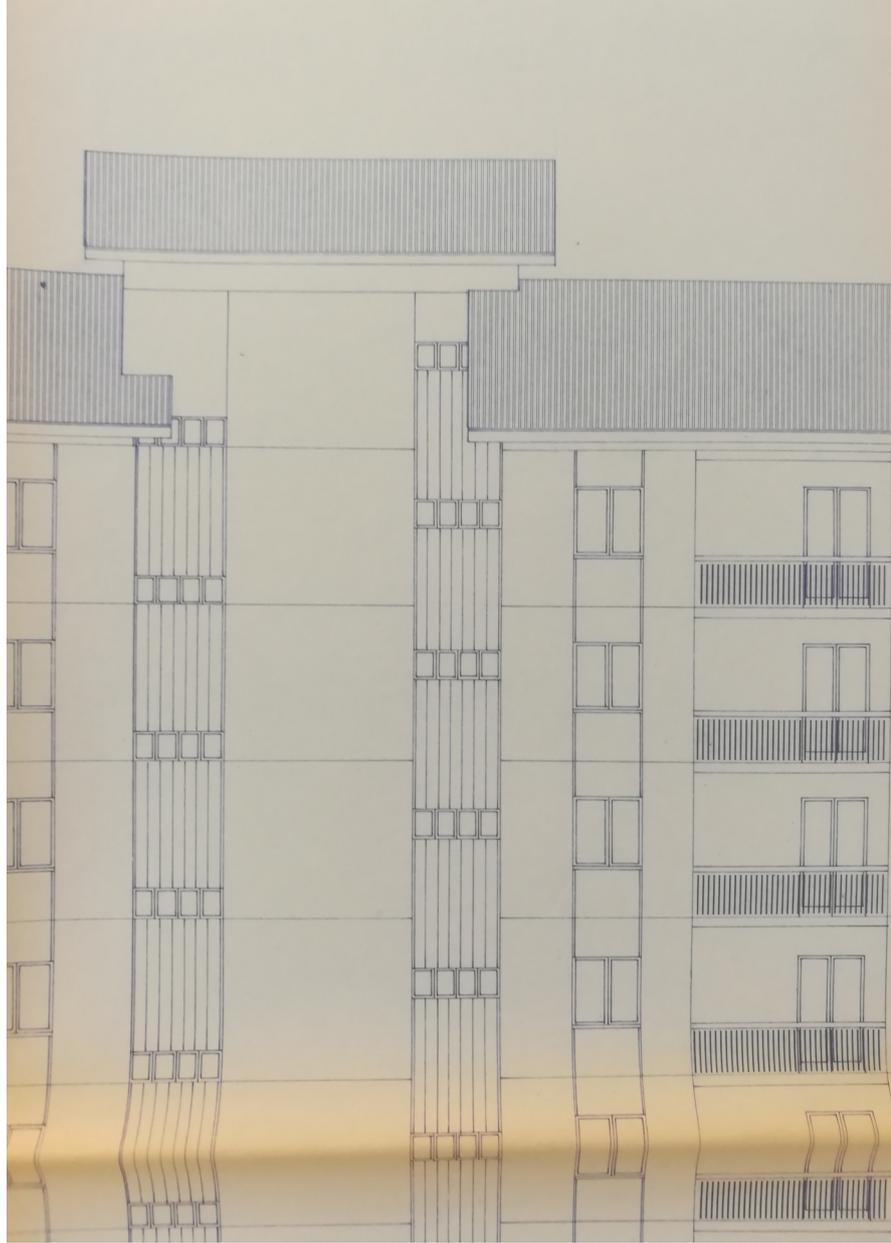
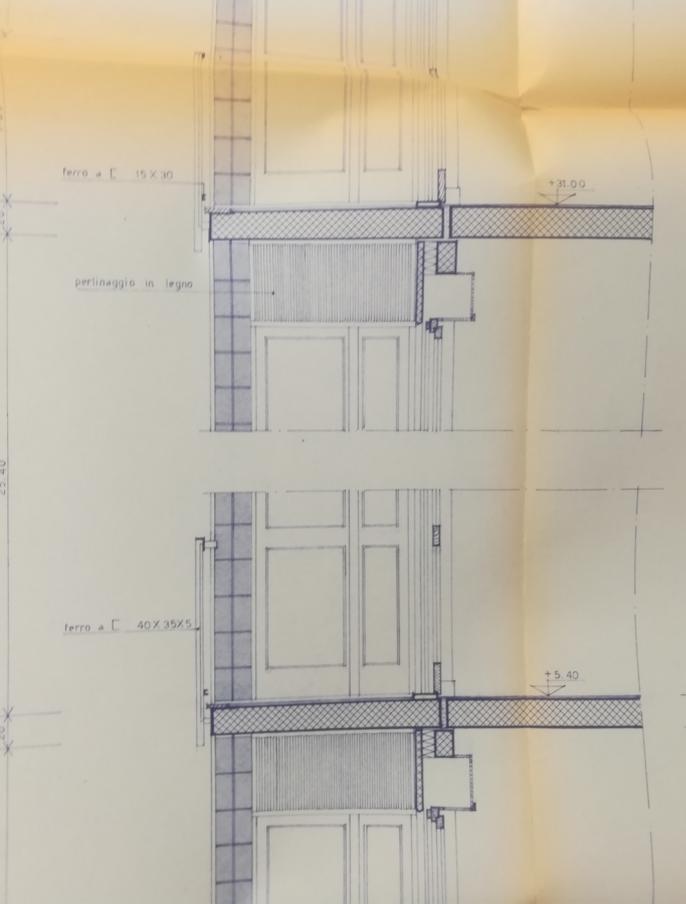
Seguono immagini della documentazione originale di progetto, visionate presso la sezione archivi del Castello del Valentino, Politecnico di Torino.

COMANDO PROVINCIALE VIGILI DEL FUOCO
 Comando Provinciale di Torino
**FAVOREVOLE
 CONDIZIONATO**
 alle prescrizioni di cui alla nota
 N.1236/69 del 14 LUG. 1969



| | | |
|---|---|---|
| Gestione Case Lavoratori LEGGE 14/2/1963 N° 60 | 1° e 2° Settore Art. 15 LEGGE 14/2/1963 N° 60 | ISTITUTO AUTONOMO CASE POPOLARI PER LA PROVINCIA DI TORINO |
| 3° NUCLEO DEL QUARTIERE RESIDENZIALE IN TORINO - MIRAFIORI SUD | | progetto urbanistico 3 |
| Pianimetria d'insieme 1/500 - schema impianti generali | | |
| BARBA NAVARETTI ING. GUIDO | edilizia | CO.IM.PRE S.p.A. Il Presidente |
| CATALANO ARCH. MARIO | edilizia | |
| DOLZA ARCH. FRANCESCO | edilizia | |
| MEGNA ARCH. MARIO | edilizia | |
| MIGLIASSO ING. ANTONIO | strutture e calcoli di stabilità | |
| DOLZA ING. CASIMIRO | programmazioni esecutive e costi | |
| LEONE ING. PIETRO | impianti | |
| CO.IM.PRE S.p.A. - Via Susa 35 - Telef. 751.866 - 745.381 - TORINO | | |







DATA;
#1= IFCORGANIZATION(\$,'Autodesk Revit 2018 (ENG)',\$,,\$);
#5= IFCAPPLICATION(#1,'2018','Autodesk Revit 2018 (ENG)', 'Revit');
#6= IFCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#9= IFCARTESIANPOINT((0.,0.));
#11= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#13= IFCDIRECTION((-1.,0.,0.));
#15= IFCDIRECTION((0.,1.,0.));
#17= IFCDIRECTION((0.,-1.,0.));
#19= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#21= IFCDIRECTION((0.,0.,-1.));
#23= IFCDIRECTION((1.,0.));
#25= IFCDIRECTION((-1.,0.));
#27= IFCDIRECTION((0.,1.));
#29= IFCDIRECTION((0.,-1.));
#31= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,\$,\$);
#32= IFCLOCALPLACEMENT(#96142,#31);
#35= IFCPERSON(\$,'','ammaCCC',\$,,\$,\$,\$,\$);
#37= IFCORGANIZATION(\$,'','',,\$,\$);
#38= IFCPERSONANDORGANIZATION(#35,#37,\$);
#41= IFCOWNERHISTORY(#38,#5,\$,.NOCHANGE.,\$,,\$,1572263144);
#42= IFCSIUNIT(*,.LENGTHUNIT.,.CENTI.,.METRE.);
#43= IFCSIUNIT(*,.LENGTHUNIT.,\$. .METRE.);
#44= IFCSIUNIT(*,.AREAUNIT.,\$. .SQUARE METRE.);
#45= IFCSIUNIT(*,.VOLUMEUNIT.,\$. .CUBIC_METRE.);
#46= IFCSIUNIT(*,.PLANEANGLEUNIT.,\$. .RADIAN.);
#47= IFCDIMENSIONALEXONENTS(0,0,0,0,0,0,0);
#48= IFCMEASUREWITHUNIT(IFCRATIOEASURE(0.0174532925199433),#46);
#49= IFCCONVERSIONBASEDUNIT(#47,.PLANEANGLEUNIT., 'DEGREE',#48);
#50= IFCSIUNIT(*,.MASSUNIT.,.KILO.,.GRAM.);
#51= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#50,1);
#52= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#43,-3);
#53= IFCDERIVEDUNIT((#51,#52),.MASSDENSITYUNIT.,\$);
#55= IFCSIUNIT(*,.TIMEUNIT.,\$. .SECOND.);
#56= IFCSIUNIT(*,.FREQUENCYUNIT.,\$. .HERTZ.);
#57= IFCSIUNIT(*,.THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT.,\$. .KELVIN.);
#58= IFCSIUNIT(*,.THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT.,\$. .DEGREE_CELSIUS.);
#59= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#50,1);
#60= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#57,-1);
#61= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#55,-3);
#62= IFCDERIVEDUNIT((#59,#60,#61),.THERMALTRANSMITTANCEUNIT.,\$);
#64= IFCSIUNIT(*,.LENGTHUNIT.,.DECI.,.METRE.);
#65= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#43,3);
#66= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#55,-1);
#67= IFCDERIVEDUNIT((#65,#66),.VOLUMETRICFLOWRATEUNIT.,\$);
#69= IFCSIUNIT(*,.ELECTRICCURRENTUNIT.,\$. .AMPERE.);
#70= IFCSIUNIT(*,.ELECTRICVOLTAGEUNIT.,\$. .VOLT.);
#71= IFCSIUNIT(*,.POWERUNIT.,\$. .WATT.);
#72= IFCSIUNIT(*,.FORCEUNIT.,.KILO.,.NEWTON.);
#73= IFCSIUNIT(*,.ILLUMINANCEUNIT.,\$. .LUX.);
#74= IFCSIUNIT(*,.LUMINOUSFLUXUNIT.,\$. .LUMEN.);
#75= IFCSIUNIT(*,.LUMINOUSINTENSITYUNIT.,\$. .CANDELA.);
#76= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#50,-1);
#77= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#43,-2);
#78= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#55,3);
#79= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#74,1);
#80= IFCDERIVEDUNIT((#76,#77,#78,#79),.USERDEFINED.,'Luminous Efficacy');
#82= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#43,1);
#83= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#55,-1);
#84= IFCDERIVEDUNIT((#82,#83),.LINEARVELOCITYUNIT.,\$);
#86= IFCSIUNIT(*,.PRESSUREUNIT.,\$. .PASCAL.);
#87= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#43,-2);
#88= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#50,1);
#89= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#55,-2);
#90= IFCDERIVEDUNIT((#87,#88,#89),.USERDEFINED.,'Friction Loss');
#92= IFCUNITASSIGNMENT((#42,#44,#45,#49,#50,#53,#55,#56,#58,#62,#67,#69,#70,#71,#72,#73,#74,#75,#80,#84,#86,#90));
#94= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,\$,\$);
#95= IFCDIRECTION((6.12303176911189E-17,1.));
#97= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT(\$,'Model',3,0.001,#94,#95);
#100= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Axis','Model',*,*,*,*,#97,\$,.GRAPH_VIEW.,\$);
#102= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Body','Model',*,*,*,*,#97,\$,.MODEL_VIEW.,\$);
#103= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Box','Model',*,*,*,*,#97,\$,.MODEL_VIEW.,\$);
#104= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('FootPrint','Model',*,*,*,*,#97,\$,.MODEL_VIEW.,\$);
#105= IFCPROJECT('3t1x_tTMj15wa2HGZsrnCw',#41,'Project Number',\$,,\$,'Project Name','Project Status',(#97),#92);
#111= IFCPOSTALADDRESS(\$,\$,\$,\$,('## Street\X\0D\X\0ACity, State Zip'),\$,,'45.0181350708008',',',',7.61836242675781');
#115= IFCBUILDING('3t1x_tTMj15wa2HGZsrnCw',#41,'',\$,,\$,#32,\$,'',.ELEMENT.,\$,,\$,#111);
#121= IFCARTESIANPOINT((0.,0.,-300.));
#123= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#121,\$,\$);
#124= IFCLOCALPLACEMENT(#32,#123);
#126= IFCBUILDINGSTOREY('3t1x_tTMj15wa2HGw9A_zp',#41,'PT',\$,,\$,#124,\$,'PT',.ELEMENT.,-300.);
#128= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,\$,\$);
#129= IFCLOCALPLACEMENT(#32,#128);
#130= IFCBUILDINGSTOREY('3t1x_tTMj15wa2HGw9AC\$V',#41,'01',\$,,\$,#129,\$,'01',.ELEMENT.,0.);
#132= IFCARTESIANPOINT((0.,0.,324.));
#134= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#132,\$,\$);
#135= IFCLOCALPLACEMENT(#32,#134);
#136= IFCBUILDINGSTOREY('3t1x_tTMj15wa2HGw9ACBv',#41,'02',\$,,\$,#135,\$,'02',.ELEMENT.,324.);
#138= IFCARTESIANPOINT((0.,0.,648.));
#140= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#138,\$,\$);
#141= IFCLOCALPLACEMENT(#32,#140);
#142= IFCBUILDINGSTOREY('3t1x_tTMj15wa2HGw9BBqr',#41,'03',\$,,\$,#141,\$,'03',.ELEMENT.,648.00000000011);
#144= IFCARTESIANPOINT((0.,0.,972.));
#146= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#144,\$,\$);
#147= IFCLOCALPLACEMENT(#32,#146);
#148= IFCBUILDINGSTOREY('3t1x_tTMj15wa2HGw9BBql',#41,'04',\$,,\$,#147,\$,'04',.ELEMENT.,972.00000000023);
#150= IFCARTESIANPOINT((0.,0.,1296.));
#152= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#150,\$,\$);
#153= IFCLOCALPLACEMENT(#32,#152);

4

Sviluppo del modello e analisi numerica

Raccolta dati e rilievo speditivo

Quando si inizia un lavoro di questo genere è fondamentale essere a conoscenza degli interventi pregressi attuati sul manufatto.

Per questa ragione in fase preliminare è stato verificato all'archivio edilizio di Torino quali fossero stati gli interventi ed il risultato è stata l'assenza di ingerenze pregresse nel comportamento energetico dell'edificio. Risulta però evidente ad un primo sopralluogo, data l'indipendenza dei condomini, la diversificazione dei serramenti che nel tempo sono stati implementati autonomamente dagli abitanti. Nel corso di questa tesi, il cui scopo ricordo essere non la diagnosi energetica dell'edificio ma la verifica ed analisi del nuovo metodo dinamico orario semplificato della UNI 52016, i serramenti dell'edificio verranno ipotizzati come potenzialmente potevano essere originariamente.

Risulta anche importante essere a conoscenza della composizione materica di esso. Attraverso l'archivio del Politecnico di Torino sono riuscito a risalire ai documenti originali del Permesso di costruire, presentato il **14 Luglio 1969**.

Attraverso questi disegni originali (piante, prospetti e sezioni) ed un rilievo manuale a conferma di essi ho realizzato inizialmente un file DWG in AutoCAD, servitomi poi come base per iniziare la modellazione con **REVIT 2019**.

Nonostante fossi in possesso del Permesso di costruire originale, non è stato possibile sviluppare alcune questioni interne alla tecnologia dell'edificio. Data infatti la poco esauriente documentazione recante un solo disegno tecnologico di dettaglio in scala 1:20, e la grande

possibilità che questo fosse stato disatteso in fase realizzativa, non è stato possibile impostare il modello con un Livello di Oggetti Digitali più avanzato del livello LOD C*. è stato scelto anche questo livello di rappresentazione degli oggetti perché in alcuni casi non sarebbe stato utile andare oltre. Un caso esemplificativo è quello dei nodi fra elementi edilizi, ai quali non è stata dedicata attenzione sia per una mancanza di dati attendibili sulla loro conformazione sia per il fatto che saranno esclusi dal calcolo energetico.

**secondo la normativa italiana
UNI 11337*

Organizzazione del modello

Quando si gestisce un progetto basato sulla metodologia BIM bisogna tenere sempre presente che uno dei capisaldi della disciplina è la condivisione. Questa si basa sull'utilizzo unanime di standard che facilitano la lettura del modello a terzi. Anche se esistono infatti a livello internazionale sistemi come *omniclass*, *uniformat*, *masterformat* e norme volte alla catalogazione da adottare in un progetto, si è scelto di adottare la seguente codifica per gli elementi opachi:

PP_E_M_cm

Dove:

PP: rappresenta il progettista o lo studio di progettazione incaricato;

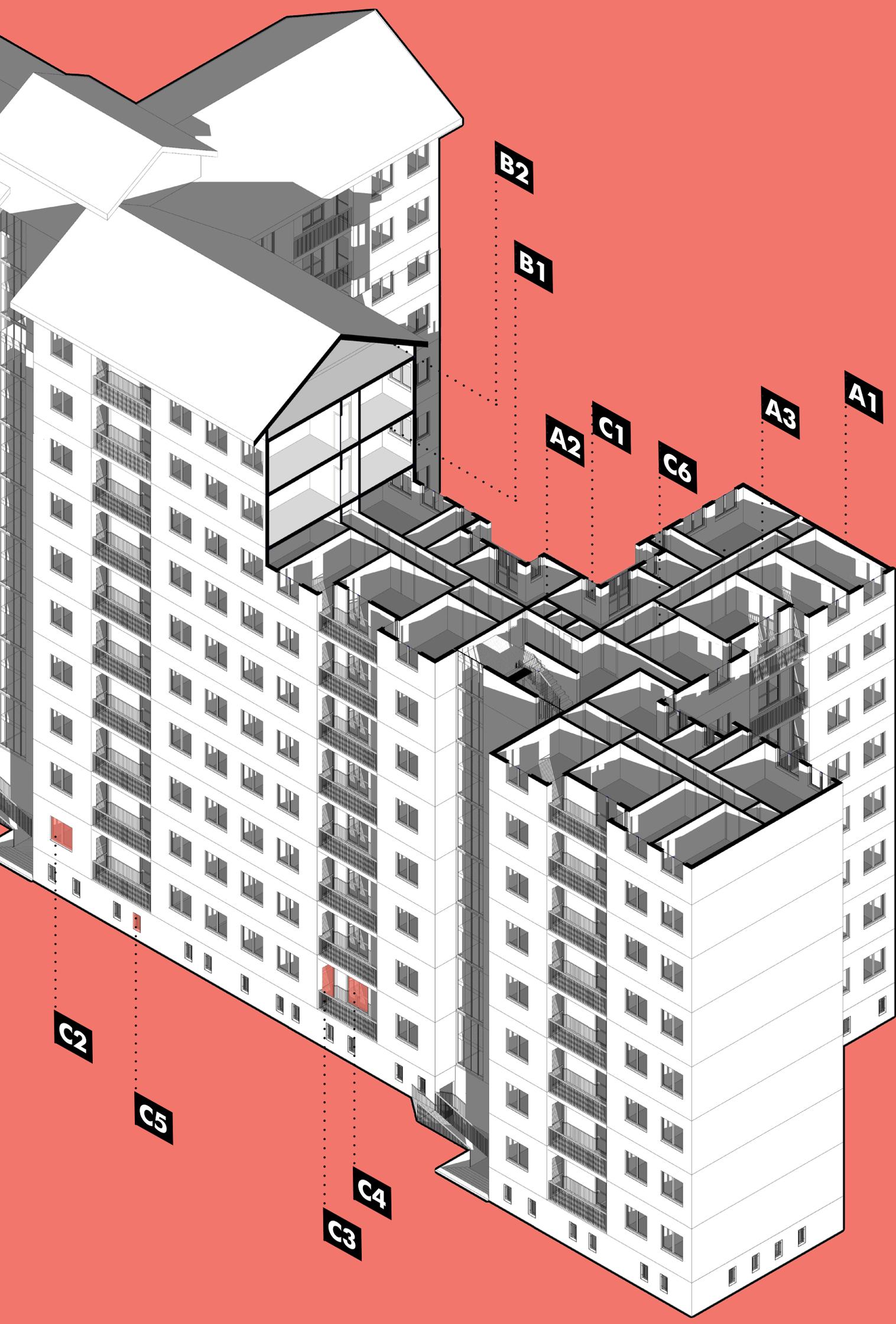
E: Rappresenta il tipo di elemento modellato (muro, solaio ecc);

M: è il materiale principale che compone l'elemento;

cm: rappresenta lo spessore dell'elemento o, se si tratta di un elemento composto, sarà suddiviso nello spessore degli elementi che lo compongono.

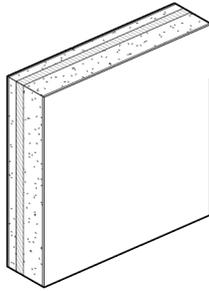
Si tratta di una codifica molto semplice ed è stata scelta vista la relativa semplicità del manufatto. In esso infatti si possono riscontrare, ad esempio, solo 3 tipi di stratigrafia verticali e un tipo di serramento trasparente. Inoltre si tratta di una modellazione unicamente architettonica e non vi è quindi esigenza di distinguere eccessivamente gli elementi.

Di seguito viene presentata una rielaborazione dell'abaco delle chiusure, delle partizioni e dei serramenti.



Dati involucro

A1 Chiusura verticale *Parete perimetriale*



| | |
|----------------------------|--------|
| Intonaco di gesso | 10 mm |
| Pannello cls prefabbricato | 130 mm |
| Poliuretano espanso | 50 mm |
| Pannello cls prefabbricato | 50 mm |
| Rivestimento ceramico | 10 mm |

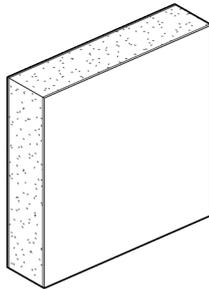
Spessore: **25** cm

$U_{\text{surface to surface}}$: **0.712** W/m².K

Capacità termica interna: **298.89** KJ/m².K

Sfasamento onda termica: **7.32** h

A2 Partizione interna verticale *Parete interna*



| | |
|----------------------------|--------|
| Intonaco di gesso | 10 mm |
| Pannello cls prefabbricato | 230 mm |
| Intonaco di gesso | 10 mm |

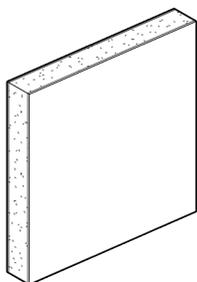
Spessore: **25** cm

$U_{\text{surface to surface}}$: **5.18** W/m².K

Capacità termica interna: **369.057** KJ/m².K

Sfasamento onda termica: **6.54** h

A3 Partizione interna verticale *Parete interna*



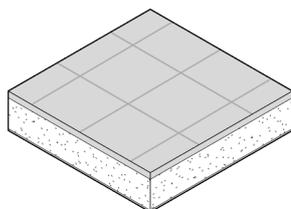
| | |
|----------------------------|--------|
| Intonaco di gesso | 10 mm |
| Pannello cls prefabbricato | 130 mm |
| Intonaco di gesso | 10 mm |

Spessore: **15** cm

$U_{\text{surface to surface}}$: **8.23** W/m².K

Capacità termica interna: **217.21** KJ/m².K

B1 Partizione interna orizzontale *Solaio*



| | |
|----------------------------|--------|
| Intonaco di gesso | 10 mm |
| Pannello cls prefabbricato | 190 mm |
| Rivestimento ceramico | 40 mm |

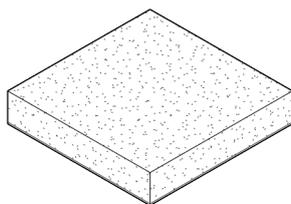
Spessore: **24** cm

$U_{\text{surface to surface}}$: **4.06** W/m².K

Capacità termica interna: **355.61** KJ/m².K

Sfasamento onda termica: **6.44** h

B1 Chiusura superiore



| | |
|--------------------------------|--------|
| Intonaco di gesso | 10 mm |
| Pannello cls prefabbricato | 190 mm |
| Rivestimento ceramico in coppi | 60 mm |

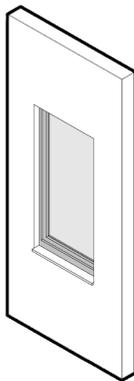
Spessore: **26** cm

$U_{\text{surface to surface}}$: **3.94** W/m².K

Capacità termica interna: **338.02** KJ/m².K

Sfasamento onda termica: **6.48** h

C1 Chiusura verticale *Infisso esterno verticale*



Serramento ad anta singola con apertura a battente.
Telaio in Legno spessore 8 cm e vetro singolo 4 mm.

Dimensioni: **80x140** cm

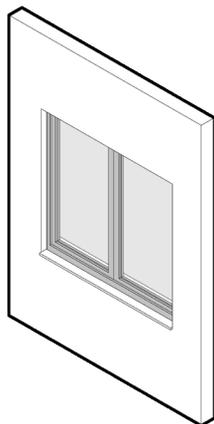
Area: **1.12** m²

U_{Glass} : **5.76** W/m².K

U_{Frame} : **2.2** W/m².K

$U_{Windows}$: **4.52** W/m².K

C2 Chiusura verticale *Infisso esterno verticale*



Serramento ad anta doppia con apertura a battente.
Telaio in Legno spessore 8 cm e vetro singolo 4 mm.

Dimensioni: **150x140** cm

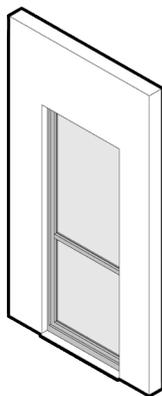
Area: **2.10** m²

U_{Glass} : **5.76** W/m².K

U_{Frame} : **2.2** W/m².K

$U_{Windows}$: **4.78** W/m².K

C3 Chiusura verticale *Infisso esterno verticale*



Porta finestrata ad anta singola con apertura a battente.
Telaio in Legno spessore 8 cm e vetro singolo 4 mm.

Dimensioni: **100x240** cm

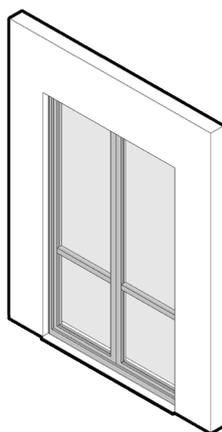
Area: **2.40** m²

U_{Glass} : **5.76** W/m².K

U_{Frame} : **2.2** W/m².K

$U_{Windows}$: **4.59** W/m².K

C4 Chiusura verticale *Infisso esterno verticale*



Porta finestrata ad anta doppia con apertura a battente.
Telaio in Legno spessore 8 cm e vetro singolo 4 mm.

Dimensioni: **150x240** cm

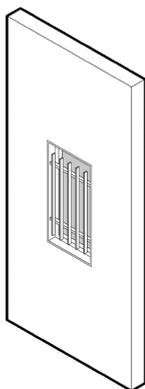
Area: **3.60** m²

U_{Glass} : **5.76** W/m².K

U_{Frame} : **2.2** W/m².K

$U_{Windows}$: **4.84** W/m².K

C5 Chiusura verticale *Infisso esterno verticale*



Infisso locale cantina ad anta singola con apertura a visiera. protezione esterna in lamelle metalliche. Telaio in Acciaio e vetro singolo 4 mm.

Dimensioni: **50x90** cm

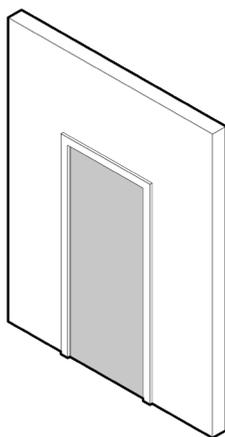
Area: **0.45** m²

U_{Glass} : **5.76** W/m².K

U_{Frame} : **7.0** W/m².K

$U_{Windows}$: **6.19** W/m².K

C6 Partizione interna *Infisso interno verticale*



Porta interna in pannello di legno spessore 40 mm.

Dimensioni: **90x210** cm

Area: **1.89** m²

U : **2.4** W/m².K

Il modello di analisi energetica

4.2

La sola stesura del modello architettonico non è sufficiente per ottenere un modello energetico dell'edificio. Vi è infatti un terzo modello intermedio fra i due che ha un ruolo propedeutico al passaggio, il modello di analisi energetica.

Esso si basa su una **ottimizzazione** (Fig. 4.2) del precedente modello architettonico in funzione di una più facile lettura del software destinato all'analisi energetica. Non risulta infatti utile portare da un programma ad un altro elementi puramente architettonici come paramani, ringhiere, cassette delle persiane o scale esterne. Questi elementi infatti avrebbero solo potuto generare problemi nei momenti di esportazione e importazione del file contenente le informazioni dell'edificio, oltre che essere inutili ai fini dell'analisi. Qualche parola in più va spesa per motivare l'esclusione delle partizioni interne agli appartamenti. In un momento iniziale della modellazione queste vennero descritte, in quanto vista l'analisi dinamica che si è intesi a svolgere esse avrebbero inciso sulla capacità termica della zona, rendendo l'analisi ancora più dettagliata e precisa. L'aumento della precisione avrebbe però comportato un aumento della mole dei calcoli e per snellire tutti i vari passaggi che questa tesi racconta si è scelto di ometterli. La loro presenza però verrà sommariamente calcolata all'interno dei due software di analisi.

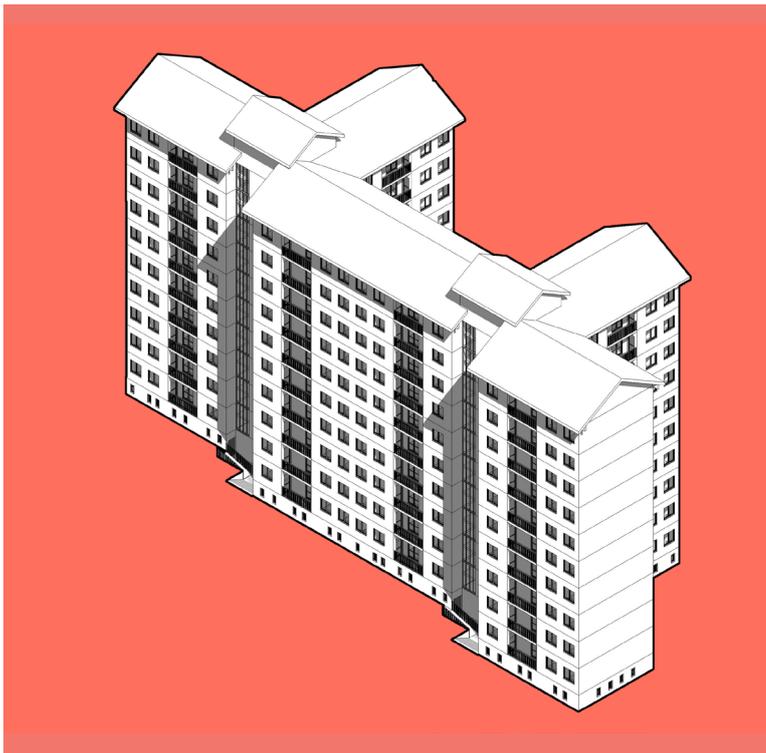
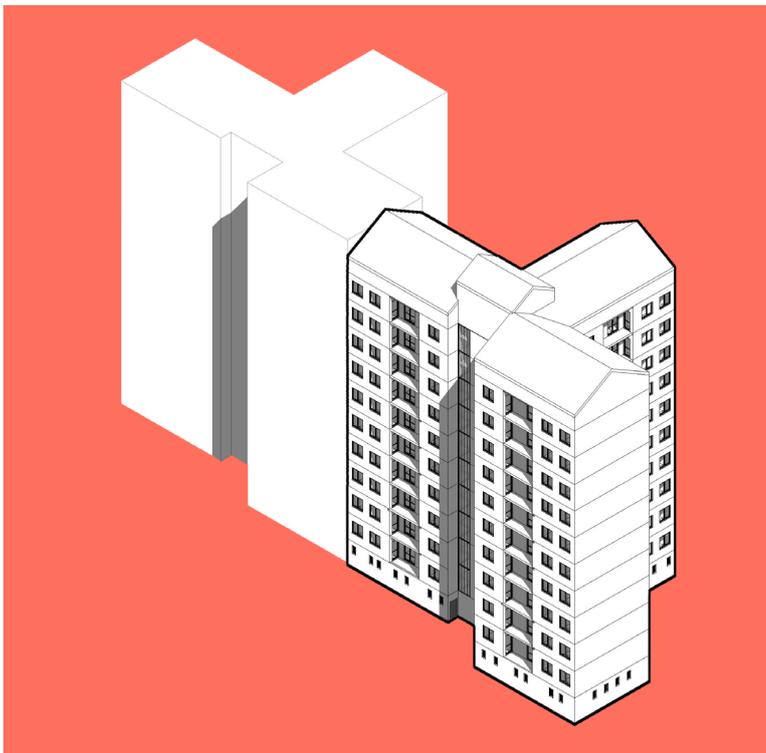


Fig. 4.2

*Rielaborazione grafica del modello
architettonico (in alto) e del modello per
l'analisi energetica (in basso).*

*Risaltano nel secondo modello l'omissione
di alcuni elementi inutili o problematici
al fine dell'analisi energetica.*



L'eliminazione degli elementi superflui non è però sufficiente per una buona interoperabilità fra i programmi. In base al formato di scambio, **IFC** o **gbXML**, e alla sua struttura è necessario utilizzare differenti accorgimenti. Sono di seguito descritti i vari processi per evitare la perdita di dati nel passaggio fra BIM e BEM.

Vi sono una serie di informazioni contenute nel modello architettonico che vengono rilevate all'interno del modello energetico solo se queste vengono modellate seguendo alcuni accorgimenti. Di seguito andremo ad analizzare i metodi di modellazione e inserimento di differenti proprietà, affinché esse vengano lette correttamente nei programmi di approdo Design Builder e EC700.

Queste caratteristiche riguardano:

Geometria d'involucro

Dati termo-fisici

Dati volumetrici

Fig. 4.3
 Categorie di dati rilevanti nell'analisi
 energetica e la loro collocazione in un
 flusso di lavoro che dal BIM approda al
 BEM

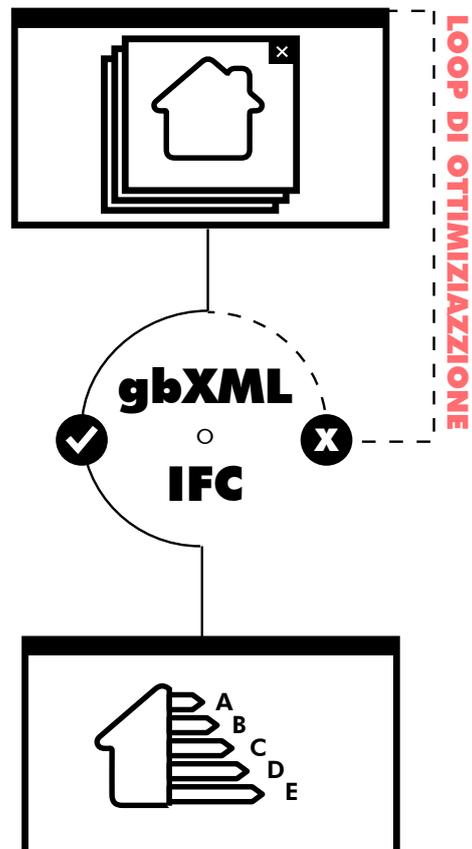
BIM

- Geometria d'involucro
- Dati Termo Fisici
- Dati Volumetrici

EAM

- Zonizzazione
- Caratteristiche costruttive
- Apporti interi
- Ventilazione

BEM



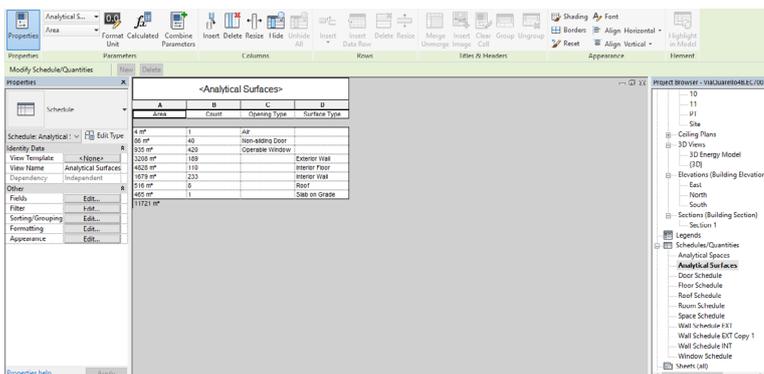
Le semplificazioni da mettere in pratica condizionano il flusso di lavoro promosso dalla metodologia BIM. Le diverse semplificazioni e forzature infatti sconfiggono la possibilità di condividere il modello per tutte le discipline che ruotano attorno ad un progetto edilizio, andando a tradire il principio cardine di questa metodologia.

Loop di ottimizzazione per l'esportazione del file gbXML

Di seguito vengono descritti i passaggi preparatori e gli accorgimenti da usare i passaggi preparatori per esportare il file gbXML nel software designato alla gestione del modello BEM: **Design Builder**. La versione utilizzata è la **5.03.007**.

Validazione del modello EAM

Il file di interscambio si baserà sulla lettura delle superfici a contatto con gli ambienti climatizzati. Per ottenere un buon risultato bisogna tenere questa differenza percentuale compresa fra il -10% e il $+10\%$.



*Fig. 4.4
Scheda delle superfici analitiche
all'interno di Revit.*

Il software Revit ci viene incontro in questa analisi. Un vantaggio infatti del modellare in BIM è il computo immediato delle quantità all'interno del modello. Queste possono essere quantità economiche, materiche o geometriche. Sono proprio quest'ultime che ci

serviranno, andando a conteggiare i computi dei differenti elementi architettonici all'interno delle *Schedules/Quantities*. Dopo aver attivato la creazione di un modello energetico la scheda "Superfici analitiche" si riempirà di dati. Questi dovranno essere confrontati con le singole schede degli elementi corrispondenti. Fig. 4. 4

Alla fine del processo di ottimizzazione, lo scarto fra le superfici reali e le superfici analitiche si attesta sul 2.31%. Questo dato è stato ritenuto soddisfacente.

Fig. 4.5

Differenza percentuale media fra le superfici analitiche del modello EAM e quelle architettoniche del modello BIM

| | EAM | BIM | DIFF | % |
|----------------------|------------|------------|-------------|----------|
| Ext Walls | 3208 | 3166 | 42 | 1.33% |
| Windows | 935 | 964 | -29 | 3.01% |
| Slab on grade | 465 | 481 | -16 | 3.33% |
| Int Floors | 4828 | 5104 | -276 | 5.41% |
| Roof | 516 | 543 | -27 | 4.97% |
| Int Walls | 1652 | 1614 | 38 | 2.35% |

ERRORE MEDIO

2.31%

Non è stato immediato per l'ottenimento di questo valore. Anzi sono risultate necessarie differenti e numerose operazioni cicliche di modifica dei dati inseriti nel modello.

La bontà e correttezza del file generato dall'esportazione di un modello di un edificio in formato gbXML passa anche dalla presenza o meno di Air Gaps. Con questo termine si indica la presenza di un vuoto d'aria, inesistente nella realtà ma percepito dal programma in seguito ad alcune incongruenze geometriche. Ritornando al discorso che questo formato, il gbXML, ragiona per superfici risulta necessario che queste siano chiuse e connesse fra loro. In caso contrario, al momento dell'esportazione, ne verrà segnalata la presenza.

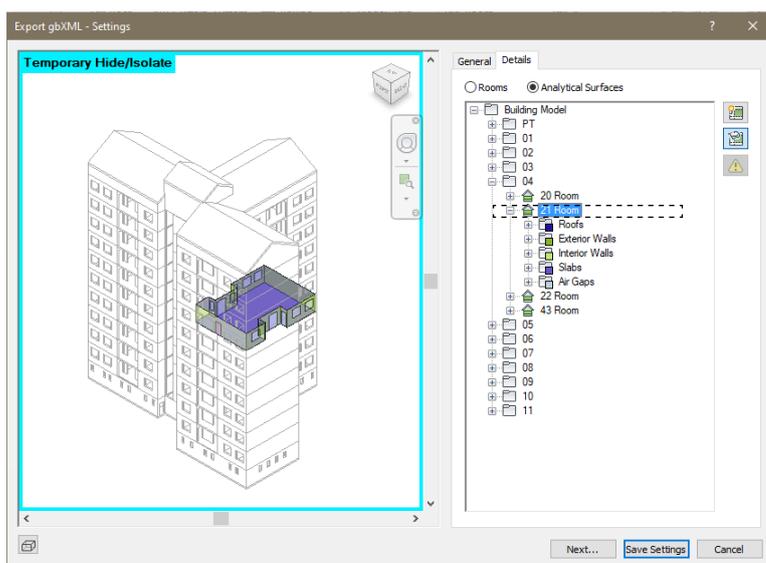


Fig. 4.6

Nella maschera di Revit per l'esportazione del file gbXML c'è la possibilità di controllare tutte le superfici che delimitano gli ambienti ed, eventualmente, rilevarne gli Ari Gaps.

Di seguito, per ogni macro-categoria di informazione da imputare nel programma BIM, verranno descritti gli espedienti e le precauzioni da usare per tenere sotto controllo e istanze sopra descritte.

Dati Volumetrici

Data la natura del file gbXML basata sul riconoscimento delle superfici e della conseguente descrizione degli elementi che la racchiudono, risulta fondamentale descrivere al programma quali sono gli ambiente per i quali stiamo effettuando l'analisi energetica. Questo risulta necessario a prescindere se un ambiente risulta riscaldato o non. Queste saranno informazioni che verranno inserite all'interno del software BEM. All'interno del software Revit esistono due possibilità per descrivere quest'informazione: gli Space e le Room. Queste due categorie di definizione degli spazi nascono per ragioni differenti e sono indipendenti all'interno del programma.

Le Room hanno una funzione computazionale. Nascono per portare con sé informazioni architettoniche dello spazio come la superficie netta, il volume o la destinazione d'uso dello stesso. Fig 4.7

Fig. 4.7

Dati che possono essere inseriti per descrivere una Room

| Rooms (1) | |
|----------------------|------------------------|
| Constraints | |
| Level | 11 |
| Upper Limit | 11 |
| Limit Offset | 689.29 |
| Base Offset | 0.00 |
| Dimensions | |
| Area | 39.259 m ² |
| Perimeter | 2533.00 |
| Unbounded Height | 689.29 |
| Volume | 220.867 m ³ |
| Computation Height | 0.00 |
| Identity Data | |
| Number | 11 |
| Name | Room |
| Image | |
| Comments | |
| Occupancy | |
| Department | |
| Base Finish | |
| Ceiling Finish | |
| Wall Finish | |
| Floor Finish | |
| Occupant | |
| Phasing | |
| Phase | New Construction |

Gli Space invece sono concepiti come indicatori di volumi d'aria da un punto di vista energetico. Sarà infatti possibile specificare differenti dati utili per la finalità dell'analisi del comportamento termico degli ambienti, come ad esempio i carichi sensibili interni, i carichi elettrici nell'ambiente o la quantità di persone che la frequenteranno in base alla tipologia d'uso.

Fig. 4.8

Dati che possono essere inseriti per descrivere uno Space

| Spaces (1) | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Constraints | |
| Level | 01 |
| Upper Limit | 01 |
| Limit Offset | 324.00 |
| Base Offset | 0.00 |
| Electrical - Lighting | |
| Average Estimated Illumination | 0.00 lx |
| Room Cavity Ratio | 0.000000 |
| Lighting Calculation Workplane | 76.20 |
| Lighting Calculation Luminaire ... | Not Computed |
| Ceiling Reflectance | 75.0000% |
| Wall Reflectance | 50.0000% |
| Floor Reflectance | 20.0000% |
| Electrical - Loads | |
| Design HVAC Load per area | 0.00 W/m ² |
| Design Other Load per area | 0.00 W/m ² |
| Mechanical - Flow | |
| Specified Supply Airflow | 0.00 L/s |
| Calculated Supply Airflow | Not Computed |
| Actual Supply Airflow | 0.00 L/s |
| Return Airflow | Specified |
| Specified Return Airflow | 0.00 L/s |
| Actual Return Airflow | 0.00 L/s |
| Specified Exhaust Airflow | 0.00 L/s |
| Identity Data | |
| Number | 3 |
| Name | Space |
| Room Number | Unoccupied |
| Room Name | Unoccupied |
| Image | |
| Comments | |
| Phasing | |
| Phase | New Constructi... |
| Energy Analysis | |
| Zone | Default |
| Plenum | <input type="checkbox"/> |
| Occupiable | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Condition Type | Heated and coo... |
| Space Type | <Building> |
| Construction Type | <Building> |
| People | Edit... |
| Electrical Loads | Edit... |
| Outdoor Air Information | From Space Type |
| Outdoor Air per Person | 2.36 L/s |
| Outdoor Air per Area | 0.30 L/(s·m ²) |
| Air Changes per Hour | 0.000000 |
| Outdoor Air Method | by People and b... |
| Calculated Heating Load | Not Computed |
| Design Heating Load | 0.00 W |
| Calculated Cooling Load | Not Computed |
| Design Cooling Load | 0.00 W |

Nonostante da questa breve descrizione delle due categorie sembri preferibile, data la finalità della modellazione, la scelta di utilizzare gli Space, questa non risulta però la scelta più appropriata per questo formato. Gli Space infatti portano con se molte informazioni utili alla causa, ma non leggibili per il terminale utilizzato: Design Builder. La software house di Revit, Autodesk, ha infatti pensato questa categoria utilizzabile solo fra i programmi da lei prodotti. Durante i loop di esportazione e importazione del modello sono state testate entrambe le categorie. Non essendo state rilevate fondamentali differenze fra i due metodi è stato scelto di utilizzare le Room per una diminuzione della possibilità di commettere eventuali errori. Come si vede da Fig. 4.7 i dati da inserire sono inferiori e di conseguenza anche la possibilità di errore diminuisce.

È importante controllare le impostazioni di rilevamento degli ambienti descritti da Room. Essa deve essere importata su "At wall finish". Fig. 4.8

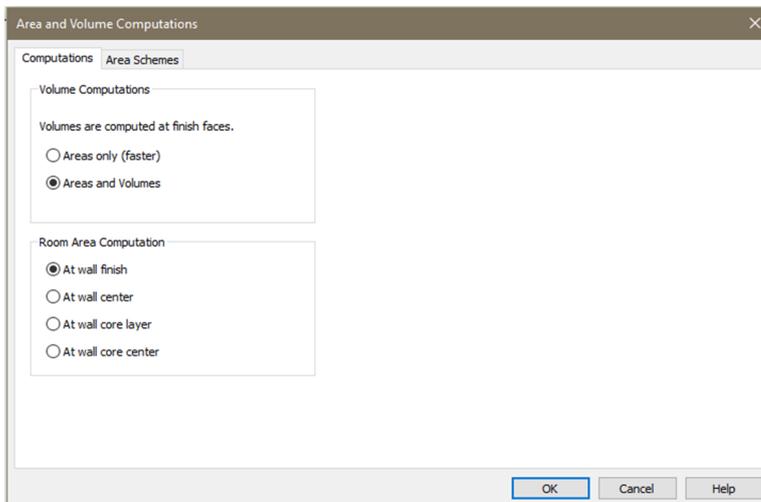
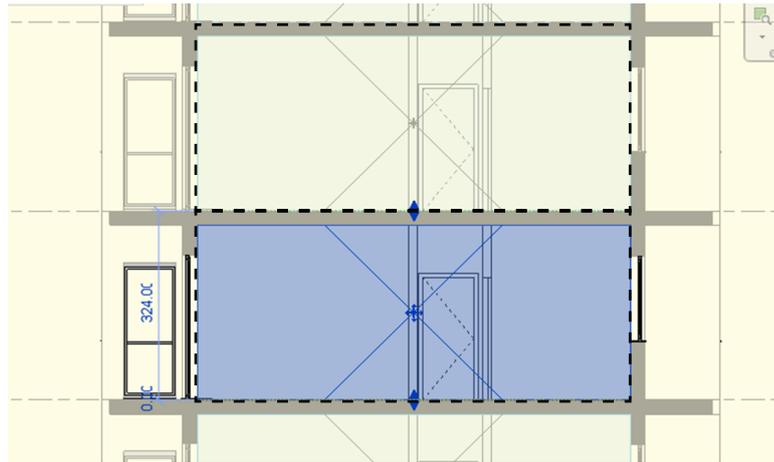


Fig. 4.8

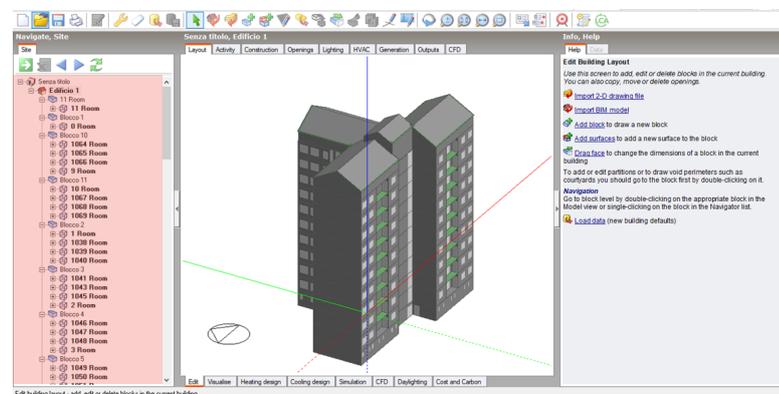
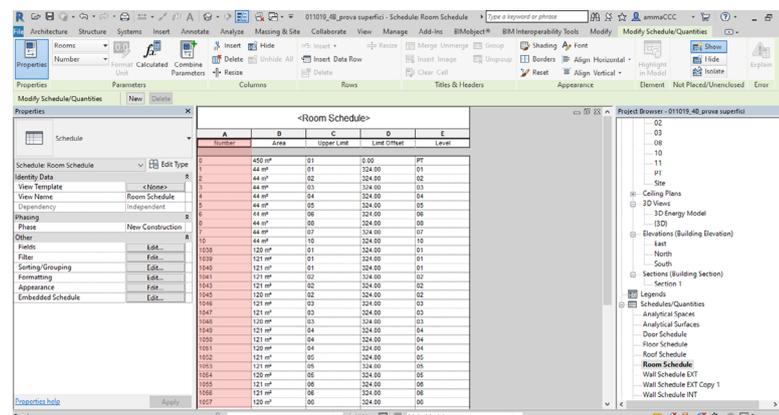
In caso di locali confinanti, è utile innalzare i confini delle room fino alla base di quella successiva. Questo ridurrà la possibilità che vengano letti Air Gaps. Questo accorgimento è valido solo se le room descrivono ambienti delimitati da geometrie semplici, con altezze uniche.

Fig. 4.9
 Innalzamento dell'offset superiore delle
 rooms



Attraverso l'abaco delle Room presenti nel modello, può essere utile procedere alla compilazione della voce "Number". Questo può tornare utile all'interno di Design Builder per riconoscere rapidamente zone termiche. Ad esempio nel caso studio si è proceduto a dare dei numeri differenti per ordine di grandezza in base a se l'ambiente sarà riscaldato o meno. Fig. 4.10

Fig. 4.10
 I nomi dati alle rooms in Revit
 saranno mantenuti un Design
 Builder, facilitandone la gestione e
 l'organizzazione.



Geometria d'involucro

Con il termine geometria d'involucro si intende il metodo di modellazione da usare per la descrizione di quelli elementi che simulano l'edificio. In questo caso studio di tratta di Muri, Solai, Finestre e Tetto.

La modellazione dei muri va eseguita accertandosi del senso direzionale di essi. Dal momento che in questi elementi è presente una stratigrafia inserita in base alla posizione dell'elemento rispetto alla zona interna o esterna.

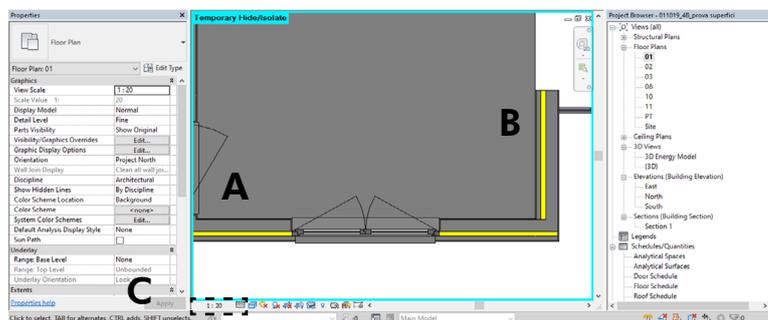


Fig. 4.11

Lo strato giallo rappresenta l'isolante interposto a due pannelli di calcestruzzo. Il muro A è stato disegnato nella posizione corretta mentre il B in quella errata.

Nella Fig. 4.11 Si può notare come il muro A sia nella posizione corretta mentre il B risulta capovolto. Posizionando il livello di dettaglio della vista, evidenziato con la lettera C su "Fine" è possibile accorgersi di eventuali errori da correggere se si vuole una corretta lettura delle stratigrafie all'interno del software DesignBuilder.

Il più grosso limite della lettura degli elementi costruttivi attraverso le Room (e anche gli Space) è l'impossibilità che queste vengano descritte da muri con spessori differenti. Un ambiente contenuto da elementi murari che si alternano di differente spessore e stratigrafia causerà la presenza di Air Gaps. Fig. 4.12

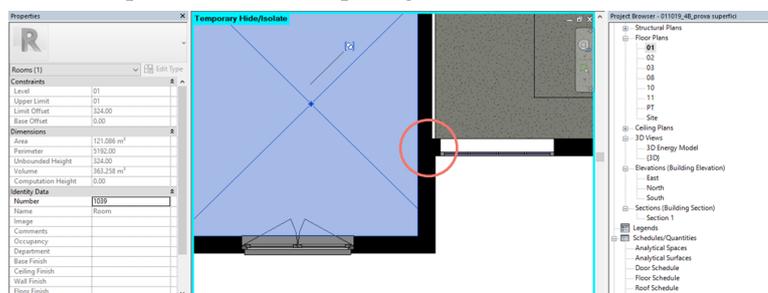


Fig. 4.12

Differenza di spessori degli elementi muri contigui causano Air Gaps

In questo caso ad esempio il confine della room era descritto, nel punto evidenziato in rosso, da un muro perimetrale esterno di 25 cm e da uno interno, che divide l'appartamento dal vano scale, di 20 cm. In fase di esportazione questo ha generato un Air Gap che è stato possibile risolvere solamente sostituendo il muro da 20 cm con uno da 25 cm. Questa accortezza è da usare anche in fase di modellazione del muro sotto finestra. È infatti possibile rilevare un cambio di spessore in quel punto in quasi tutte le costruzioni residenziali sparse sul territorio italiano. Anche in quel caso bisognerà andare a **tradire** lo stato di fatto, rendendo uniforme la superficie disperdente. Questa risulta una semplificazione molto importante all'interno del processo di simulazione energetica perché si sta andando ad omettere un possibile *ponte termico*. È possibile, a livello termo-fisico, andare a sopperire a questa differenza correggendo la trasmittanza (U) dell'elemento andando a calcolare il peso del componente mutato.

Quella appena descritta non è stata l'unica importante semplificazione che è stata effettuata a livello architettonico per far sì che il procedimento proseguisse correttamente. Anche nei componenti finestrati è necessario semplificare le informazioni geometriche che vengono date. In un primo momento i Serramenti sono stati modellati con la presenza dei cassonetti delle serrande. Si tratta infatti di elementi con un ruolo importante all'interno del calcolo della trasmittanza dell'elemento, dimostrandosi spesso, soprattutto per l'età di costruzione dell'edificio, uno dei ponti termici più critici all'interno della facciata. La Fig. 4.13 rappresenta come si è scelto inizialmente di disegnare il serramento.

Dopo aver effettuato i primi test di importazione all'interno di Design Builder, ci si è accorti del fraintendimento da parte di quest'ultimo rispetto alla effettiva superficie finestrata. In Design Builder questi elementi vengono descritti graficamente da una superficie semplice, successivamente descritta dai suoi componenti telaio, vetro ed eventuale **sotto-superficie**, ovvero il cassonetto.

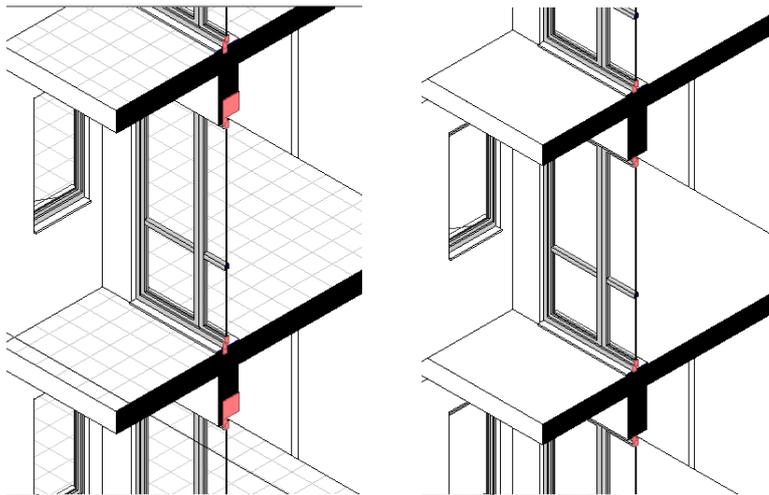


Fig. 4.13

Serramento modellato con il cassonetto della serranda a sinistra (A) e senza a destra (B)

Con il serramento descritto come nell'immagine A quindi si ottiene in Design Builder un componente finestrato ampio tanto quanto tutti gli elementi presenti, riconoscendo come vetro anche la superficie in realtà destinata al cassonetto. Si è notato che questo avrebbe comportato un aumento della superficie finestrata di circa 10% per ogni serramento. Ritenendo troppo grande questa alterazione si è preferito procedere con la modellazione in Revit mostrata nella figura B. Anche in questo caso bisogna essere coscienti del fatto che si sta andando ad omettere un componente importante, andando a intaccare la fedeltà della simulazione.

Il modo di Design Builder di leggere i componenti finestra rivelerà l'inutilità di una modellazione che va oltre il **LOD A** dei serramenti. Lo spessore del vetro, del telaio fisso e persino la distinzione fra telaio fisso e telaio mobile, distinzione fondamentale per un'accettabile descrizione architettonica, risultano parametri trascurabili in questi modelli, poiché queste informazioni non verranno portate da un programma all'altro.

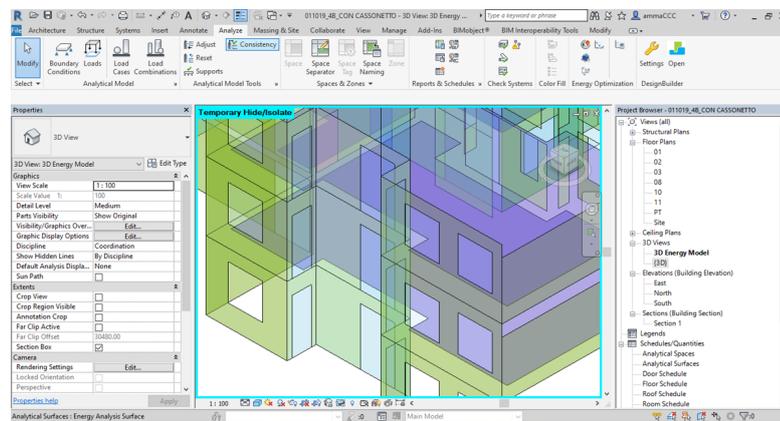
Anche analizzare il come l'elemento muro e l'elemento solaio si intersecano risulta rilevante ed utile al fine di un corretto passaggio di informazioni. In Revit il metodo più rapido ed intuitivo per modellare l'elemento solaio è disegnandone in pianta il profilo. Nel

corso di questo lavoro si è notata l'importanza della posizione di quest'ultimo per una corretta lettura nel file gbXML.

Inizialmente è stata posizionata ogni linea perimetrale del solaio lungo la mezzeria del muro esterno di involucro che lo limitava. In fase di preparazione del modello analitico però questo generava uno scarto eccessivamente grande fra la superficie analitica e la superficie reale. L'errore era inaccettabile, anche perché la differenza era evidente anche ad uno sguardo disattento.

Fig. 4.14

La superficie analitica del solaio interno risulta particolarmente distante a quelle delle pareti esterne



Provando a spostare il filo della pavimentazione lungo il perimetro interno dei muri che confinano gli ambienti il risultato rimaneva invariato: gli Air gaps erano inaccettabili.

Avendo provato un il filo interno e con la mezzeria, si è proceduto a posizionare il perimetro lungo il muro esterno. Verificando le superfici analitiche questo posizionamento ha portato ad un' effettiva soluzione dei vuoti d'aria. Lo scarto fra le superfici era accettabile, il modello EAM era quindi, presumibilmente accettabile. Quando però quel modello venne passato su Design Builder mi sono accorto che ad ogni piano, in corrispondenza dei solai, venivano rilevati degli oggetti che correvano lungo tutto il perimetro dell'edificio. Fig. 4.15

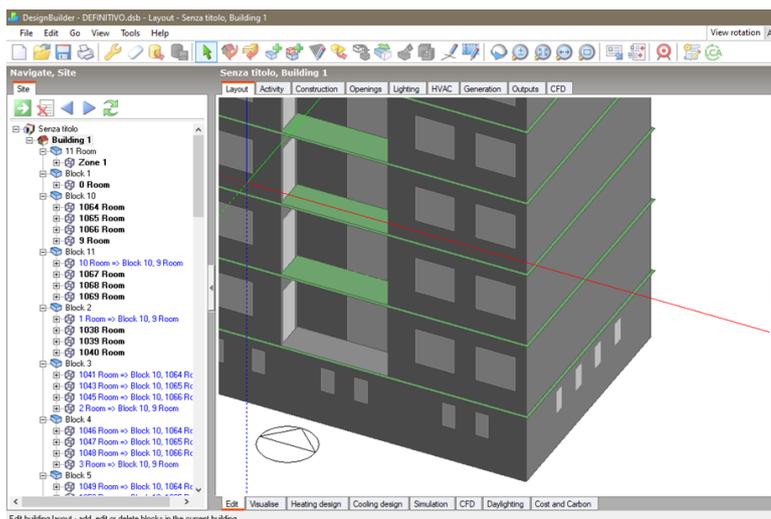


Fig. 4.15

In verde si possono notare delle sporgenze ad ogni piano

Tornando su Revit e analizzando su come è stata impostata la stratigrafia della parete, è stato notato che venne impostato un nucleo all'interno della stratigrafia a dispetto dei materiali di finitura.

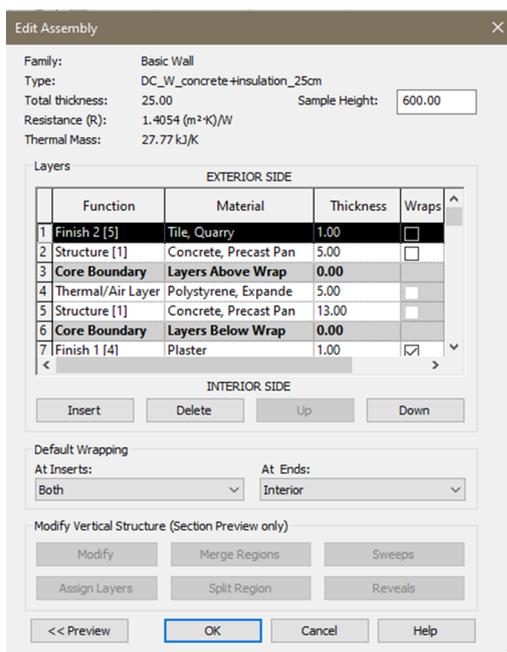
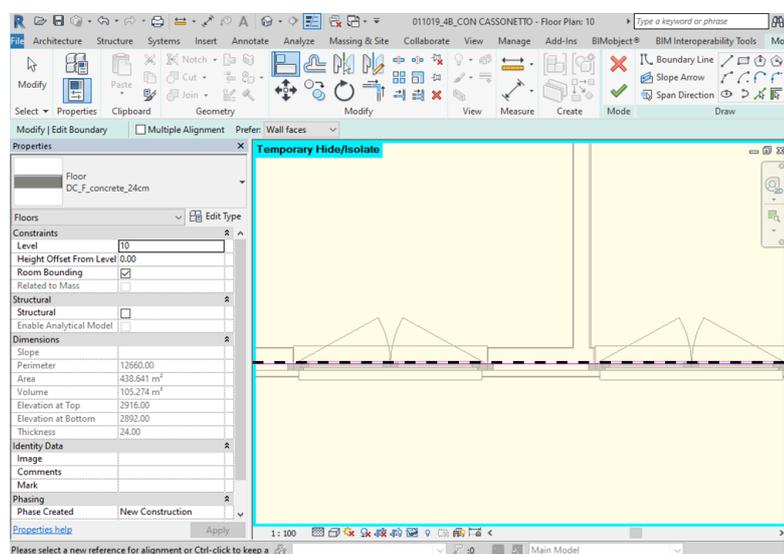


Fig. 4.16

È stato quindi correttamente ipotizzato che il “Core Boundary” potesse avere qualche connessione con il posizionamento del solaio e il modo in cui questo e il muro si intersecano. Effettuando un ultimo tentativo di posizionamento del profilo lungo la linea che corrisponde allo strato 3 in Fig. 4. 16 è stato, finalmente, possibile

risolvere sia la presenza di Air Gaps sia le superfici, lette come ombreggiamenti, in Design Builder. Fig 4.17

Fig. 4.17
Posizionamento corretto del profilo del solaio



L'ultimo elemento geometrico analizzato in questo capitolo è l'aggetto risultante dalla presenza dei balconi. Questo infatti ha un importante ruolo nel regolare gli apporti solari nelle differenti stagioni. Durante le prime prove di esportazione e importazione del file gbXML in Design Builder questo elemento non risultava mai rilevato. Sono state percorse diverse strade. Si è notato che non è dipendente dal modo in cui la soletta viene modellata. Sono state provate infatti, come per il caso precedente dei solai interni, diverse posizioni del perimetro, provando ad unire con quello della pavimentazione interna contigua, ma in nessun modo è stato possibile mantenere l'informazione. È stato ipotizzato che fosse necessario l'inserimento di un ambiente (*Room o Space*) all'interno della loggia esterna per far sì che venisse letta; effettivamente attraverso questo accorgimento la soletta veniva letta in Design Builder, ma veniva anche letta la linea di separazione della room che veniva posta sul lato aperto della loggia, necessaria per creare un ambiente confinato. Il software Design Builder infatti interpreta queste linee di separazione come veri e propri muri, associandoli una stratigrafia presente nel

progetto. Fig. 4.18

La successiva eliminazione di ogni chiusura non reale su ogni loggia dell'edificio è stata valutata come un' ipotesi non percorribile.

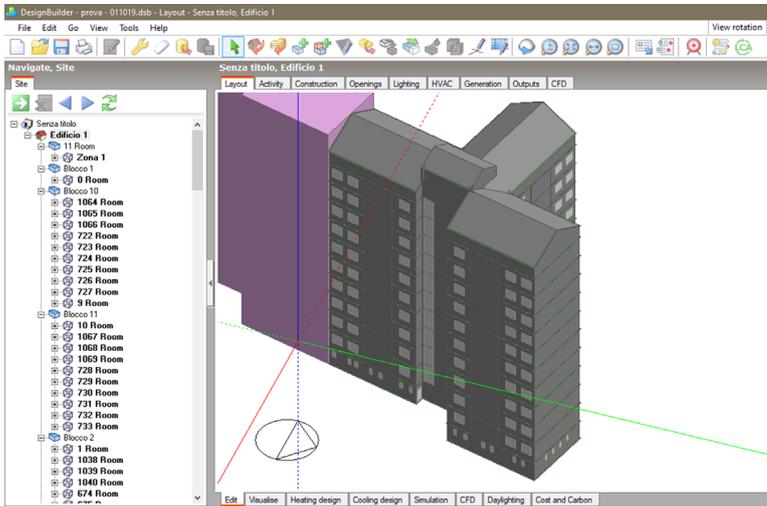


Fig. 4.18

Il rilevamento di queste solette aggettanti è stato reso possibile attraverso l'esportazione del file gbXML attraverso il Plug-in di Design Builder installato direttamente in Revit.

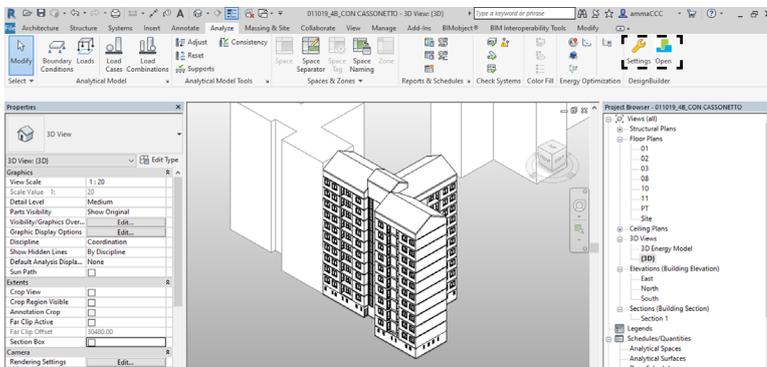


Fig. 4.19

Non è stato possibile rilevare il motivo di questo problema ma solamente la soluzione.

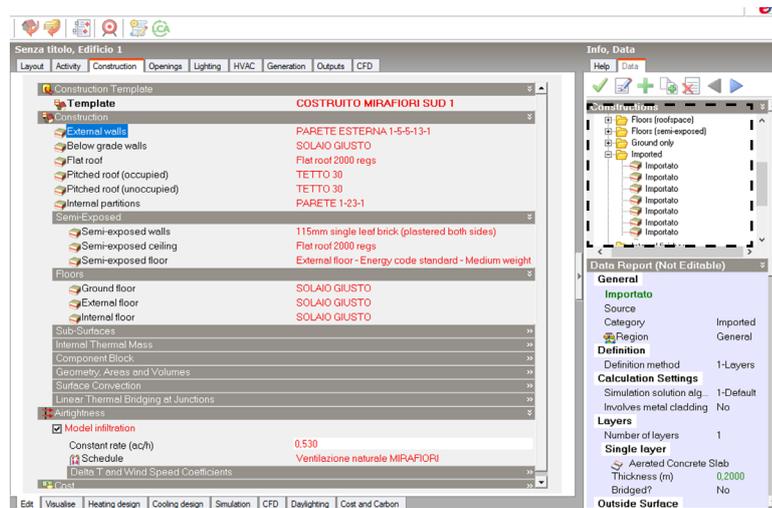
Dati termo-fisici

Fra i parametri determinanti che descrivono un elemento architettonico all'interno di un'analisi energetica vi è certamente il dato termo-fisico dei materiali che lo compongono. Requisito di una buona interoperabilità fra software è l'esigenza di non inserire più volte il medesimo dato.

Al momento della modellazione degli elementi architettonici opachi è possibile andare a descrivere la stratigrafia dell'elemento.

È importante che i programmi che andranno a dialogare, in questo caso specifico Revit e Design Builder, siano impostati nella stessa lingua. Se ciò non avvenisse i materiali verrebbero letti ugualmente nel programma di analisi energetica, ma verranno appellati con il nome "Importato". In questo modo risulterà più faticoso l'individuazione degli elementi, dovendo andare a dedurre dalla stratigrafia il tipo di elemento in questione e rinominarlo. Fig 4.20

Fig. 4.20



Anche a livello di singolo materiale, e non di intero elemento architettonico, bisogna usare un accorgimento perché questo venga nominato correttamente. Al momento della scelta del materiale, infatti, bisognerà attingere dalla libreria interna al software Revit denominata AEC Materials.

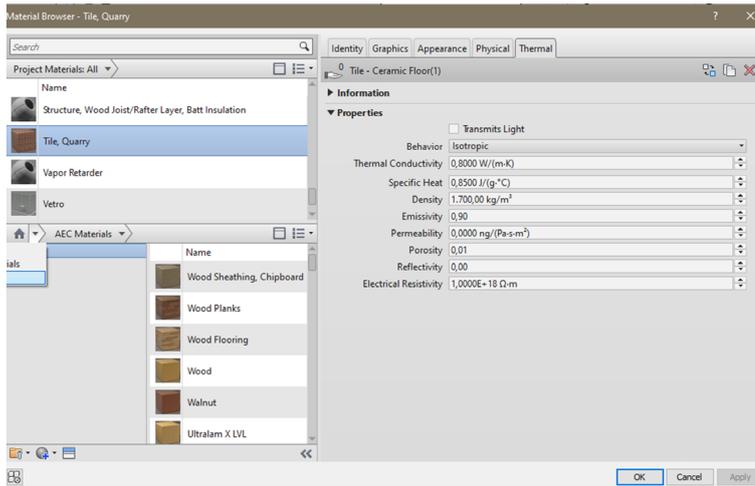


Fig. 4.21

Nella Fig. 4.21 è possibile vedere quali sono le caratteristiche termiche che descrivono il materiale. Infatti è importante che la trasmittanza, la caratteristica principale per la trasmissione del calore attraverso un componente, non sia l'unica specificata. All'interno di un calcolo dinamico infatti sono molte le variabili che entrano in gioco, come ad esempio la capacità termica di un materiale, essenziale per calcolare la temperatura superficiale e di conseguenza la temperatura operante all'interno di un ambiente. A tal proposito è importante notare come, dopo aver assegnato i materiali agli strati che compongono la struttura, Revit ci restituisca una trasmittanza totale dell'elemento. Fig.4.22

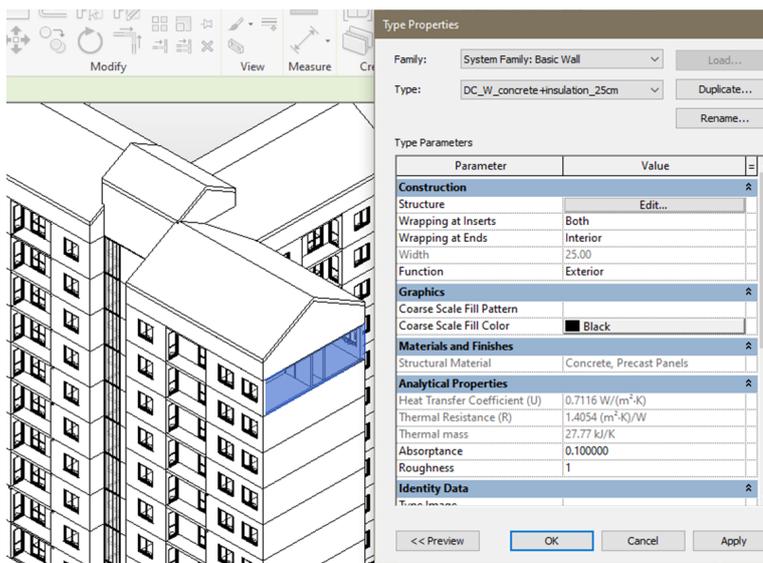


Fig. 4.22

Questa sarà sicuramente maggiore rispetto a quella che ci verrà segnalata nei differenti software di analisi energetica. Il motivo sta nel fatto che revit non conosce l'ubicazione dell'elemento architettonico all'interno della distribuzione delle zone termiche, e non può quindi attribuire un coefficiente di resistenza superficiale.

Fig. 4.22

$$U = \frac{1}{R_{se} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{si}}$$

R_{se} : Resistenza superficiale *esterna*;

s_x : Spessore del materiale X ;

λ_x : Conducibilità termica del materiale X;

R_{si} : Resistenza superficiale *interna*.

Analizzando la formula di calcolo della U infatti notiamo che al denominatore il primo e l'ultimo fattore sono le Resistenze superficiali esterne ed interne. Queste risultano differenti in base a se si tratta di un ambiente esterno, interno climatizzato, interno non climatizzato o a contatto con il terreno. Non conoscendo questi dati, revit in realtà calcolerà la conduttanza termica, seguendo questa formula: :

Fig. 4.23

$$\Lambda = \frac{1}{\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n}}$$

Procedura per l'esportazione

Di seguito viene descritta la procedura per la creazione del Modello di Analisi Energetica, o modello EAM.

Nella versione inglese, andando nella scheda "Analyze" si può accedere all'opzione "Energy Optimization". Aprendo quindi la finestra degli "Energy Settings" si potranno impostare le regole dell'esportazione del file gbXML.

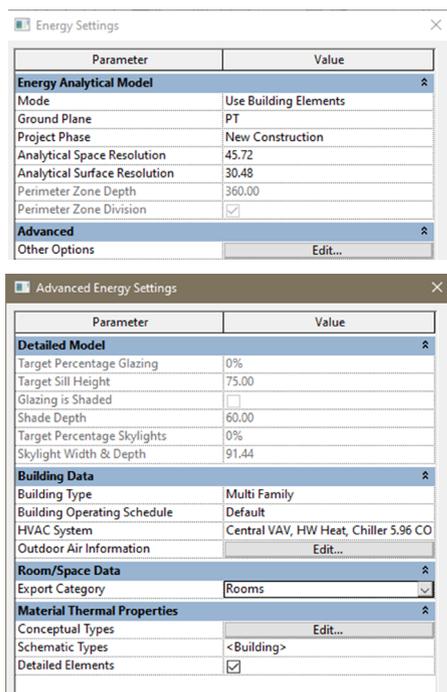
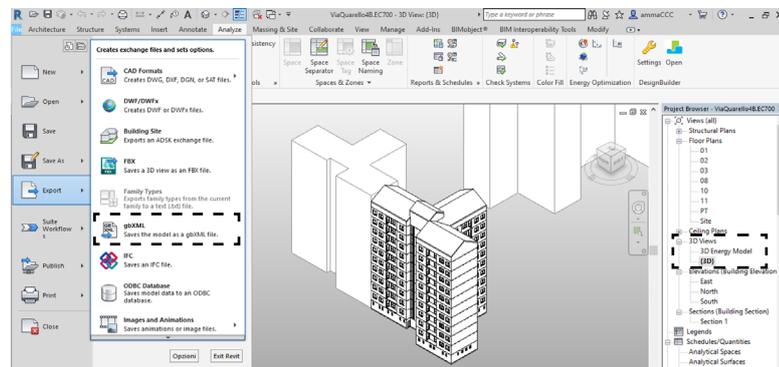


Fig. 4.24

Per come è stato modellato l'edificio non sono state rilevate differenze nell'impostazione della voce Mode. Risulta invece fondamentale inserire al *Ground Plane* il livello 0 dell'edificio. La scelta del Project Phase potrebbe risultare utile se sono stati modellati due differenti livelli di dettaglio, rappresentanti ipoteticamente un modello volto al Facility Management e all'analisi energetica. In questo caso specifico tutto è stato modellato in un'unica fase. Proseguendo su "Other Options" è possibile comunicare al programma che l'analisi delle superfici disperdenti verrà effettuata sulla base degli ambienti descritti come *Rooms* e che i materiali verranno esportati come "Detailed Elements".

Il prossimo e ultimo passaggio comprenderà la visualizzazione del modello che verrà esportato.

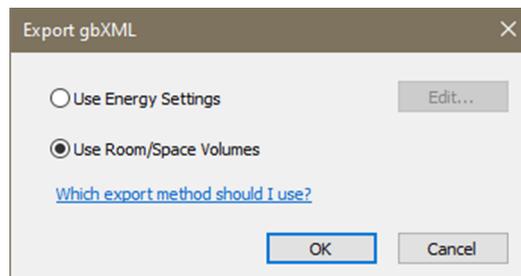
Fig. 4.25



È importante, prima dell'esportazione in gbXML, impostare la vista del modello in 3d. Se questo non venisse fatto allora non apparirebbe disponibile questo formato di esportazione nelle opzioni. Selezionando quindi il file di esportazione gbXML revit ci chiederà se utilizzare gli Energy Setting precedentemente impostati o meno.

Al fine di questa analisi risulta interessante procedere con "Use Room/Space Volumes".

Fig. 4.26



Si aprirà una prima schermata dove è possibile inserire gli stessi dati che già sono stati inseriti nel "Energy Settings". È però interessante notare come si abbia un veloce responso grafico riguardante la posizione delle Rooms. Ad esempio, nella Fig.27 è possibile notare come i locali riferiti alla copertura siano stati inseriti erroneamente. L'altezza di quelle Rooms infatti non supera l'altezza reale

dell'ambiente andando a causare errori di lettura della superficie disperdente.

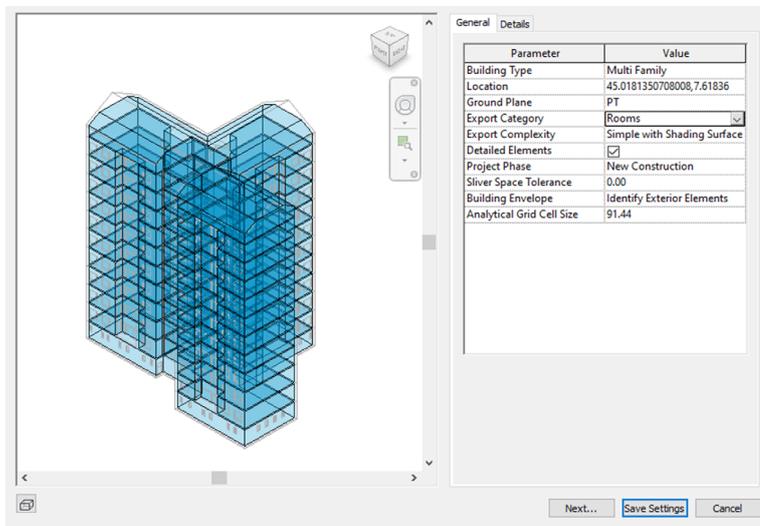


Fig. 4.27

Proseguendo sulla finestra "Details" è possibile vedere tutte le superfici analitiche distribuite piano per piano.

È interessante notare come anche con questa modalità di visualizzazione è possibile rendersi conto di eventuali errori di modellazione. Sarà possibile infatti isolare gli appartamento andando a leggere le superfici che lo compongono. Queste superfici saranno le stesse che verranno lette nel software BEM.

Quando tutte le superfici verranno rilevate correttamente e la differenza fra le superfici analitiche e le superfici reali del modello sarà contenuta al di sotto del 10%, si potrà procedere con l'esportazione.

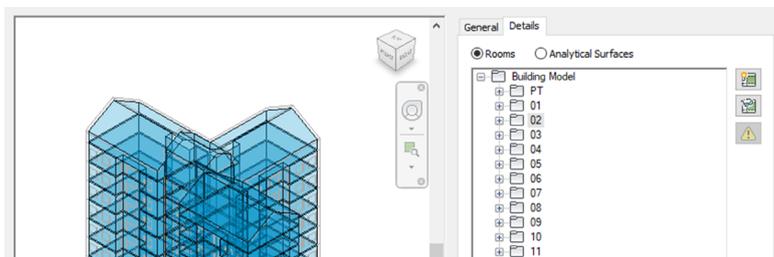


Fig. 4.28

Prima di completare l'esportazione, è importante lasciare la spunta sulla voce "Rooms" come in figura

Un ultimo accorgimento è di completare l'esportazione posizionando l'ultima schermata su *Rooms* e non su *Analytic Surface*.

Fig 4.28

La natura di questa scelta non risulta spiegata totalmente, ma si tratta di un espediente suggerito dai ricercatori del laboratorio **Drawing TO the Future** del *Politecnico di Torino*, i quali durante i loro numerosi test si sono accorti dell'importanza di questa impostazione.

Loop di ottimizzazione per l'esportazione del file IFC

A differenza del Loop appena descritto e riguardante la preparazione del file gbXML, il procedimento della creazione del file IFC risulta più dispendioso dal punto di vista del tempo necessario. Non ci sono infatti modalità di visualizzazione all'interno di Revit che ci possono aiutare ad individuare eventuali inesattezze o incongruenze.

Va però detto che per natura stessa del file, IFC, che ragiona per classi edilizie esistenti è più difficile che si verifichino incongruenze di superfici e vuoti d'aria, come per l'alternativa gbXML. Intrinsecamente infatti il formato IFC conserva una quasi immediata trasmissione del dato geometrico. Non saranno quindi da fare test come la precedente verifica della differenza fra superfici analitiche e reali.

Il software di approdo del formato IFC è **EC700**. La versione è la **9.19.41**

Dati Volumetrici

Risulta necessario ai fini dell'avanzamento dell'analisi inserire anche per questo tipo di esportazione le *Room/Space* all'interno degli ambienti. Questa è una caratteristica singolare del software di EdilClima. Il formato in questione infatti non dovrebbe necessitare l'inserimento di questi parametri per essere letto. È stato verificato infatti che in competitor di EC700 per la certificazione degli edifici, Termolog, permette l'importazione anche solo delle geometrie.

Anche in questo caso è da segnalare la quasi assenza di differenze nell'inserimento delle Room piuttosto che gli Space.

Sono state testate entrambe e soprattutto gli Space, per le quali è possibile specificare se un locale è condizionato o meno. Purtroppo però neanche questa volta è stato possibile il passaggio del dato. L'unica differenza di lettura che è stata riscontrata è che, al momento dell'importazione del file IFC in EC700, gli Space vengono riconosciuti e associati già a una zona creata di default. Il problema di questa procedura è che vengono associati tutti gli ambienti, anche quelli che in teoria non lo sono. Inserendo le Room invece al momento dell'importazione tutti gli ambienti verranno letti come non associati.

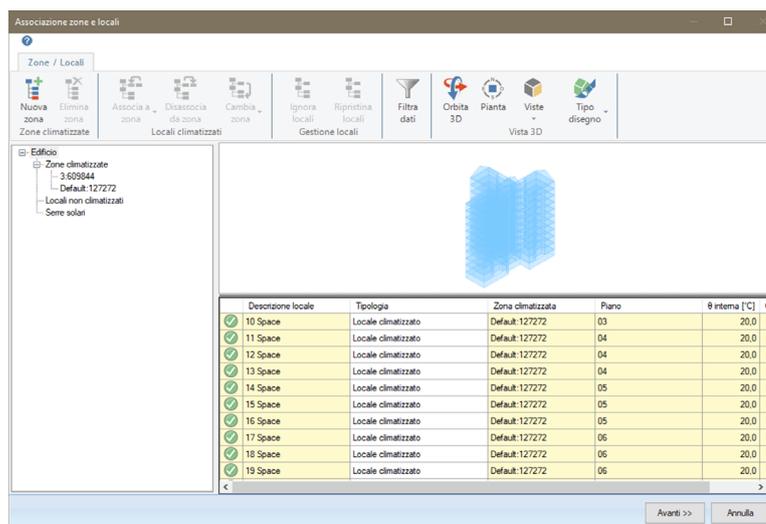
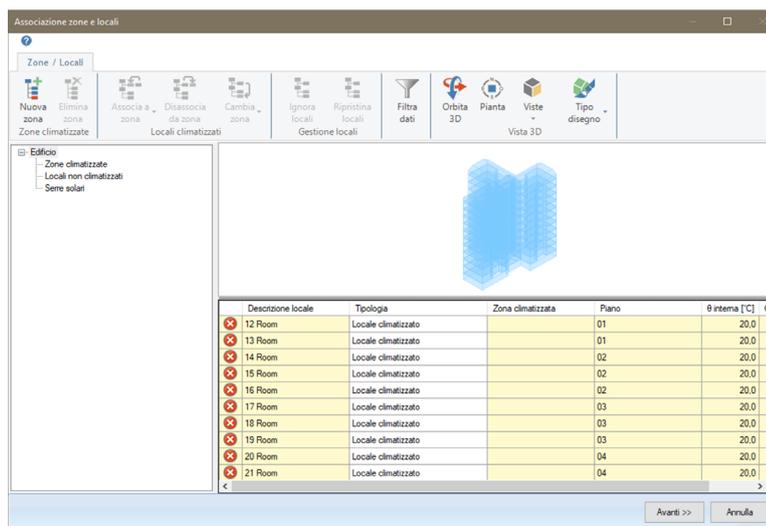


Fig. 4.29
Importazione Spaces

Fig. 4.30
 Importazione rooms



Nelle Fig. 4.29 e 4.30 si vede come nel caso degli Space, Fig. 4.29, esista la zona "Default 127272" già creata mentre con le Room (Fig. 4.30) no. Ciò nonostante risulta più rapido creare una nuova zona e ri associare gli ambienti, inserendo in Revit le Room.

Anche per questo formato occorre posizionare il limite delle Room oltre il limite fisico del locale, per assicurarsi della corretta lettura degli ambienti.

Geometria d'involucro

Per una corretta lettura delle geometrie di involucro in EC700 bisogna usare, praticamente, quasi le stesse modalità di modellazione usate per l'esportazione in Design Builder.

È importante modellare le pareti di ogni piano sempre nello stesso modo per non creare incongruenze. Verrà scelto quindi un filo (*interno, esterno o mezzzeria*) per il disegno del componente e dovrà essere mantenuto costante. È necessario limitare le altezze dei muri ai rispettivi piani, evitando di creare un unico oggetto muro alto come tutto il progetto. Fig. 4.31



Fig. 4.31

Muro modellato correttamente

(a destra) e muro modellato in maniera errata (a sinistra)

Vista la necessità di inserire i locali per riconoscere quali locali ed involucri faranno parte dell'analisi, risulta necessario modellare le pareti come elementi unici composti da più stratigrafie, e non elementi distinti adiacenti. In questa seconda ipotesi verrà infatti letto solamente il primo muro a contatto con il locale.

Anche per i locali non climatizzati, se vogliamo che ne venga letto l'involucro, andrà inserita una Room o uno Space. Nel caso studio questo risulta necessario nei vani scala, nelle cantine e nel sottotetto. È interessante vedere come nel vano scala l'elemento "scala" venga letto come un divisorio di ambienti, andando a colmare il vuoto nel solaio.

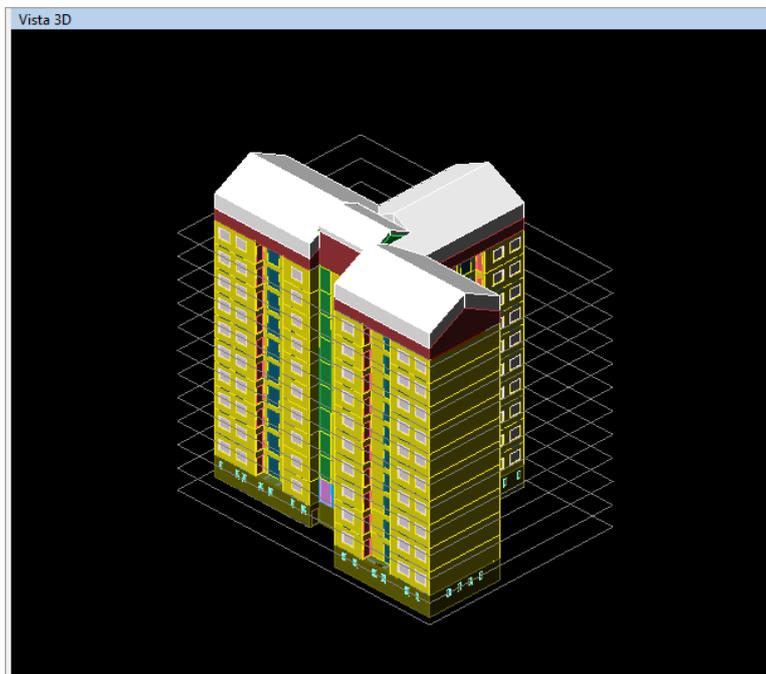
Un problema importante è stato rilevato nella copertura dell'edificio. Al momento dell'importazione in EC700, questa presentava una lettura multipla della sua stratigrafia.

Come si vede dalla Fig. 4. 32. Infatti le falde della copertura presentano un esagerato spessore. Andando nella parte del software dedicata ai componenti di involucro si può notare come le stratigrafie vengano sovrapposte più volte. Sarà necessario procedere con l'eliminazione manuale degli strati in eccesso. È stato provato a modellare l'elemento in Revit utilizzando tutti i metodi offerti dal programma e ad unire i muri sottostanti con le falde, ma ciò non ha risolto l'errore.

Non è stato possibile conservare le parti di solaio dei balconi, per i quali si è proceduto a una modellazione manuale degli elementi.

Fig. 4.32

Le falde del tetto vengo lette dal software EC700 come un multiplo della reale stratigrafia. Nell'immagine in basso infatti si vedono che lo spessore reale, di 30 cm, venga ripetuto altre volte, generando lo spessore esagerato che si nota nell'immagine sopra.



Soffitti: S39 - Basic Roof:Generic Roof - 300mm:509502

Jodice S 39 Descrizione Basic Roof:Generic Roof - 300mm:509502 Tipo T da locale climatizzato verso esterno

Dati generali / **Stratigrafia** / Verifica Termoisometrica / Grafici / Risultati

Elenco strati (dall'alto verso il basso)

| Jodice | Descrizione | Spessore [mm] | Cond. [W/mK] | R [m ² K/W] | M.V. [kg/m ³] | C.T. [kJ/kgK] | R.V. |
|--------|------------------------|---------------|--------------|------------------------|---------------------------|---------------|------|
| e404 | C.I.s. di sabbia e | 300.00 | 1.480 | 0.203 | 2200 | 1.00 | 96 |
| e404 | C.I.s. di sabbia e ... | 300.00 | 1.480 | 0.203 | 2200 | 1.00 | 96 |
| e404 | C.I.s. di sabbia e ... | 300.00 | 1.480 | 0.203 | 2200 | 1.00 | 96 |
| e404 | C.I.s. di sabbia e ... | 300.00 | 1.480 | 0.203 | 2200 | 1.00 | 96 |
| e404 | C.I.s. di sabbia e ... | 300.00 | 1.480 | 0.203 | 2200 | 1.00 | 96 |
| e404 | C.I.s. di sabbia e ... | 300.00 | 1.480 | 0.203 | 2200 | 1.00 | 96 |

Spessore totale 1800.00 mm

Barriere al vapore Calcestruzzi Intonaci Isolanti Laterizi Solette Vari Pannelli Intercapedini

| Tipologia materiale | Codice | Descrizione | Sp | M.V. | Cond. | R.V. | C.T. | Nome |
|--|--------|---|----|------|---------|---------|------|-----------------|
| Barriere al vapore | e101 | Barriera vapore in bitume puro | 0 | 1050 | 0.170 | 50000 | 1 | UNI EN ISO ... |
| Impemeabilizzazioni | e102 | Barriera vapore in carta o cartone ... | 0 | 1100 | 0.230 | 2500 | 1 | UNI 10351 - ... |
| Impemeabilizzazioni in bitume-A-B. ISOL... | e104 | Barriera vapore in bitume feltro /fo... | 0 | 1100 | 0.230 | 50000 | 1 | UNI EN ISO ... |
| | e106 | Barriera vapore foglio di alluminio (...) | 0 | 2700 | 220.000 | 9999999 | 0.88 | UNI 10351 - ... |
| | e109 | Barriera vapore in fogli di P.V.C. | 0 | 1390 | 0.160 | 50000 | 0.9 | UNI EN ISO ... |
| | e110 | Barriera vapore in fogli di polietilene | 0 | 920 | 0.330 | 100000 | 2.2 | UNI EN ISO ... |
| | e111 | Barriera vapore in fogli di polietilene | 0 | 980 | 0.500 | 100000 | 1.8 | UNI EN ISO ... |

www.edilclima.it

Questa è stata particolarmente dispendiosa poiché il comando all'interno di EC700 non è fluido.

Per quanto riguarda i serramenti vetrati si è rilevato una migliore trasmissione del dato in quanto anche se continuano a non essere

trasmetti i parametri termici, *vengono mantenute le geometrie dell'elemento*, generando una corretta posizione della finestra rispetto allo spessore del muro. Vale però lo stesso accorgimento, riguardo ai cassonetti degli avvolgibili dei serramenti, usato per la modellazione per Design Builder, ovvero la necessaria loro esclusione per non incappare in sovrastime delle dimensioni del componente vetrato

Dati termo-fisici

Non ci sono accorgimenti da usare per quanto riguarda la compilazione dei dati termo-fisici dei materiali, poiché questi non verranno usciranno dal perimetro di Revit. Già in un primo momento, analizzando il codice del file IFC esportato dal software BIM è stata rilevata la presenza di **ifcMaterials** a cui però non seguono specifiche di carattere termico. È stato però rilevato la presenza del dato di trasmittanza dell'elemento architettonico. Come si vede nella Fig. 4.33 infatti è stato evidenziato il valore di U, in questo caso specifico pari a 0.18018674475023 , riferito al singolo elemento.

```

Project2 - Blocco note di Windows
File Modifica Formato Visualizza ?
#255= IFCSTYLEDREPRESENTATION(#97, 'Style', 'Material', (#253));
#257= IFCMATERIALDEFINITIONREPRESENTATION($, $, (#255), #246);
#260= IFCMATERIALLAYER(#177, 90, $);
#262= IFCMATERIALLAYER(#190, 76, $);
#263= IFCMATERIALLAYER(#204, 76, $);
#264= IFCMATERIALLAYER(#218, 190, $);
#265= IFCMATERIALLAYER(#232, 42, $);
#266= IFCMATERIALLAYER(#246, 16, $);
#267= IFCMATERIALLAYERSET((#260, #262, #263, #264, #265, #266), 'Basic Wall:Exterior - Brick on CMU');
#275= IFCMATERIALLAYERSETUSAGE(#267, ., AXIS2, ., NEGATIVE, ., 245, .);
#276= IFCWALLTYPE('2m$Q4IaxOq3u0C1FZ1q', #41, 'Basic Wall:Exterior - Brick on CMU', $, $, $, $, '264', $, ., STANDARD.);
#279= IFCPROPERTYSET('Reference', $, IFCIDENTIFIER('Exterior - Brick on CMU'), $);
#279= IFCPROPERTYSET('LoadBearing', $, IFCBOOLEAN(.F.), $);
#280= IFCPROPERTYSET('ExtendToStructure', $, IFCBOOLEAN(.F.), $);
#281= IFCPROPERTYSET('IsExternal', $, IFCBOOLEAN(.T.), $);
#282= IFCPROPERTYSET('ThermalTransmittanceMeasure', $, IFCREAL('0.18018674475023'), $);
#283= IFCPROPERTYSET('1V6sZucSH1300p_qFzHh28', #41, 'Pset_WallCommon', $, (#278, #279, #280, #281, #282));
#288= IFCREDEFINESBYPROPERTIES('01$cuDfP52N8gPRDRoPRoy', #41, $, $, (#168), #283);
#292= IFCCLASSIFICATION('http://www.csiong.net/uniformat', '1998', $, 'Uniformat');
#294= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6, $, $);
#295= IFCLOCALPLACEMENT($, #294);
#296= IFCSITE('35$ysz2801_uzFuKf1drXt', #41, 'Default', $, $, #295, $, $, .ELEMENT., (42, 21, 31, 181945), (-71, -3, -24, -263305), 0, ., $, $);
#301= IFCPROPERTYSET('AboveGround', $, IFCLOGICAL(.U.), $);
#302= IFCPROPERTYSET('1vK3KfagSHqVY2_o6FnY', #41, 'Pset_BuildingStoreyCommon', $, (#301));
#304= IFCREDEFINESBYPROPERTIES('0UxvQ3Rpl6403PsG7Rjms', #41, $, $, (#124), #302);
#312= IFCRELAGGREGATES('2hnpDQ2B94veSkzbZY_#8', #41, $, $, #296, (#296));
#316= IFCRELAGGREGATES('3YVHC_9NDBuQAnZLBKRDR', #41, $, $, #296, (#115));
#320= IFCRELAGGREGATES('3ioAYZVOL1Q0EtMgyz14Rh', #41, $, $, #115, (#124));
#324= IFCPROPERTYSET('NumberOfStoness', $, IFCINTEGER(1), $);
#325= IFCPROPERTYSET('3ioAYZVOL1Q0EtMgyz14Rh', #41, 'Pset_BuildingCommon', $, (#324));
#327= IFCREDEFINESBYPROPERTIES('1abF2Xlp1FYhM20n0byv5', #41, $, $, (#115), #325);
#331= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('070CS_Ah11GbnYyBf31FQ', #41, $, $, (#168), #275);
#334= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('1kvcGjz1T4485yUdInt0eV', #41, $, $, (#276), #267);
#340= IFCPRESENTATIONLAYERASSIGNMENT('A-WALL-____-OTLN', $, (#143, #161), $);
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;

```

Fig. 4.33

Stringa del codice IFC. evidenziata in blu la riga riferita alla Thermal Transmittance dell'elemento muro.

Il riconoscimento delle stratigrafie in EC700 però avviene per somma dei singoli strati, ognuno dei quali descritti come materiali

indipendenti, la cui somma andrà a restituire il totale, ovvero 0,1801...

Dal momento che però le caratteristiche termiche dei singoli materiali non vengono esportate ma, come espresso sopra, solo quelle totali dell'elemento, non è stato possibile da parte di EC700 riconoscere i dettagli termo fisici degli elementi.

Questa deduzione è stata confermata dallo staff di assistenza della software house di EdilClima.

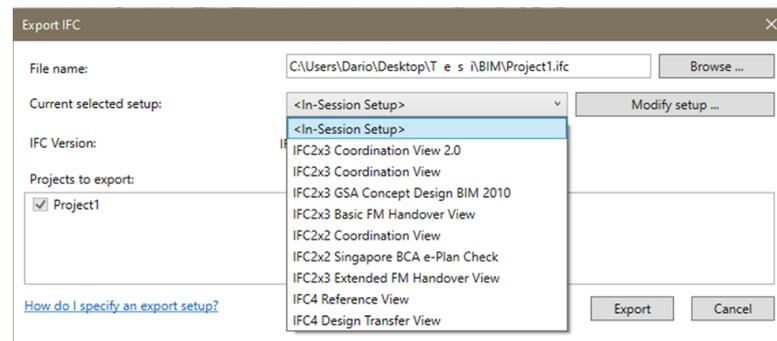
Procedura per l'esportazione

Esistono differenti versioni riferite agli schemi IFC per l'esportazione.

Nella maschera volta alla scelta delle impostazioni di importazioni si può notare l'esistenza di un menù a tendina che ci propone differenti schemi di IFC, che vanno dal 2x2 al 4.

Fig. 4.34

Maschera per l'esportazione del file IFC
in Revit.



In fase di esportazione sono stati provati i più recenti, ovvero IFC4 Reference view e IFC4 Design Transfer View, i più diffusi IFC2x3 Coordination View 2.0 e IFC2x3 Coordination View, e il meno recenti IFC2x2 Coordination View 2.0 e IFC2x3 GSA Concept Design Bim 2010.

IFC/ifcXML specifications [\[edit \]](#)

- IFC4 Add2 (2016)
- IFC4 Add1 (2015)
- IFC4 (March 2013)^[5]
- ifcXML2x3 (June 2007)
- IFC2x3 (February 2006)
- ifcXML2 for IFC2x2 add1 (RC2)
- IFC2x2 Addendum 1 (July 2004)
- ifcXML2 for IFC2x2 (RC1)
- IFC 2x2
- IFC 2x Addendum 1
- ifcXML1 for IFC2x and IFC2x Addendum 1
- IFC 2x
- IFC 2.0 (March 1999)
- IFC 1.5.1 (September 1998)
- IFC 1.5 (November 1997)^[1]
- IFC 1.0 (June 1996)

Fig. 4.35

Successione cronologica del rilascio di differenti schemi IFC.

Fonte:

https://en.wikipedia.org/wiki/Industry_Foundation_Classes

Per ogni schema IFC è possibile modificarne le caratteristiche di configurazione. Fig 4.36

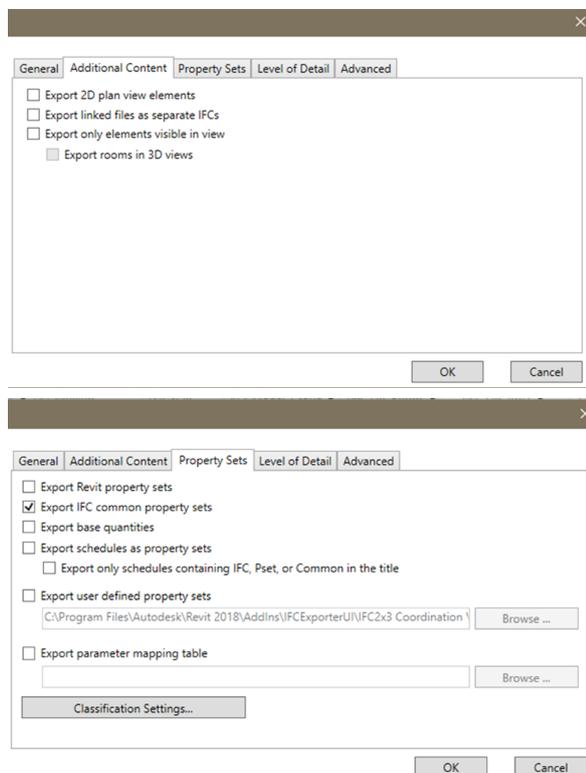
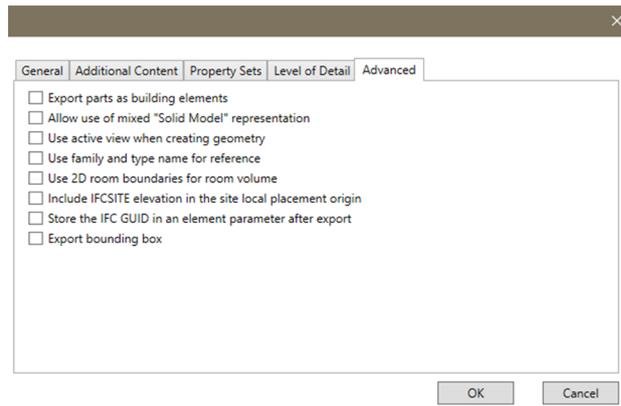


Fig. 4.36



Sono state provate differenti combinazioni di impostazione per migliorarne la lettura, ma nessuna di queste ha portato ad un file di importazione migliore di quello prodotto spuntando la sola voce “export IFC common property sets”. Anzi alcune scelte si sono rivelate contro produttori. Spuntando “export Revit property sets” sempre sotto la voce “property Sets” si ottiene un file IFC più pesante del 30 % rispetto a quello base. Questo avviene perché il file porta con sé molte informazioni contenute nel modello BIM, molte delle quali però non funzionali al tipo di analisi che si vuole svolgere.

Fig. 4.37

Esito di differenti test di esportazione con differenti schemi IFC. Per tutti si può considerare fallimentare il passaggio dell'informazione geometrica.

In alto sx: IFC4 Reference view

In alto dx: IFC4 Design Transfer

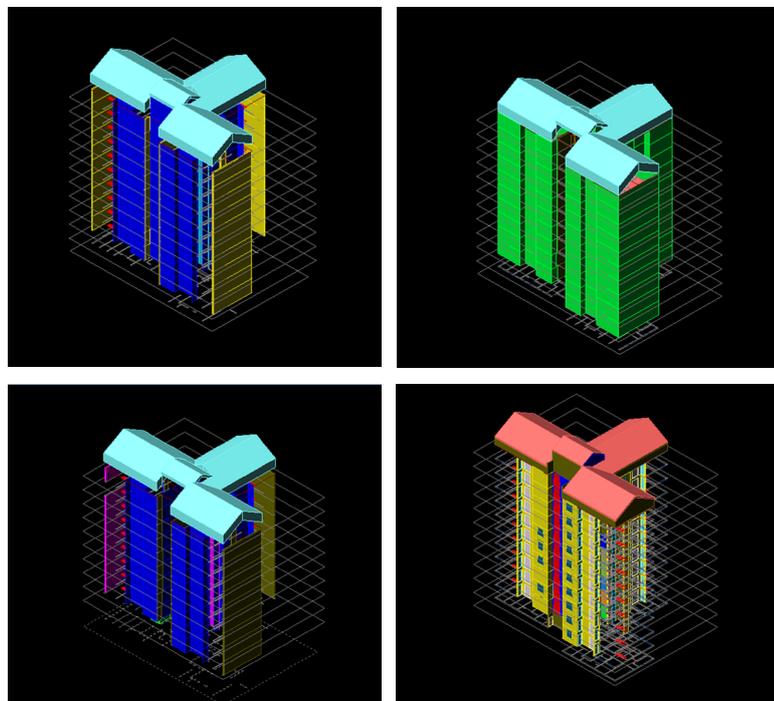
View

In basso sx: IFC2x3 GSA Concept

Design Bim 2010

In basso a dx: IFC2x2 Coordination

View 2.0



Nella Fig 2.1 presenta a pagina 51 di questa tesi, è possibile notare come Dati Climatici, Involucro e i Dati utenza rappresentino gli input indispensabili da cui partire per effettuare un'analisi energetica. Si è deciso di omettere il rilevamento dei dati impiantistici, ponendo successivamente all'interno dei software BEM un impianto a potenza infinita così da potersi soffermare sull'analisi del fabbisogno utile ideale dell'edificio.

Queste informazioni sono state ottenute utilizzando suggerimenti proposti da alcune normative, come nel caso dei dati utenza, oppure sono state ipotizzate dopo un'attenta ricerca sulle tecniche costruttive degli anni del caso studio, come nel caso degli elementi di involucro.

Ricordando sempre però lo scopo comparativo e critico del flusso di lavoro che da un modello BIM porta ad uno BEM, è utile sottolineare come il focus vada posto non tanto sulla veridicità di queste informazioni quanto la loro uniformità. *E' di essenziale importanza infatti che vi sia coerenza fra le informazioni riportate in EC700, in Design Builder e in Revit, pena l'insussistenza dello studio.* Parte quindi del lavoro della tesi è stato cercare di rendere uniformi gli input, andando ad agire, dove possibile, all'interno delle impostazioni dei software.

Dati climatici

I due file di analisi energetica attingono per i loro calcoli dinamici a diversi database. Per questa ragione si è optato per andare a sostituirli entrambi con un univoco file.

**Comitato Termotecnico Italiano*

Il **CTI** propone l'utilizzo di un file .epw, leggibile attraverso Excel, contenente informazioni di una data località riguardanti:

- Temperatura;
- irradianza solare globale su piano orizzontale;
- Umidità relativa;
- Velocità del vento.

Viene generato un anno tipo caratterizzato dai valori orari delle grandezze sopra elencate. L'anno tipo è generato a partire da un campione formato da 12 mesi scelti fra quelli più rappresentativi. I dati climatici utilizzati sono relativi alla città di Torino.. Il campione del periodo di rilevazione è superiore ai 10 anni.

Dati utenza

Il comportamento degli occupanti ha la capacità di incidere nella richiesta di energia utile volta a soddisfare il mantenimento di una temperatura fissata ($T_{set}: 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) all'interno di un ambiente. Le azioni che vengono da loro svolte all'interno dell'involucro causano degli apporti gratuiti alle equazioni di bilancio. L'utilizzo delle aperture e quindi della ventilazione, le attività svolte dagli occupanti e le apparecchiature da loro usate possono e devono essere descritte all'interno di un calcolo dinamico orario.

Non trattandosi di una diagnosi energetica, strettamente connessa ad un attento e fedele rilievo dei comportamenti degli abitanti dell'edificio, si è proceduto andando ad individuare valori standard da utilizzare nel calcolo. Inoltre, per semplicità, si è scelto di

unire gli apporti generati dalle persone, dall'illuminazione e dalle apparecchiature.

Per quanto riguarda gli apporti termici degli occupanti e delle apparecchiature si è partiti dal profilo proposto dalla *UNITS 11300*, dove però per le tipologie residenziali vengono divisi gli apporti dei locali cucina e soggiorno dagli altri.

E' stata quindi effettuata una rielaborazione del dato andando a calcolare una media pesata sulla superficie effettiva di ogni zona termica dedicata a quelle attività.

Ne è conseguito questo profilo:

| Giorni | Ore | W/m² |
|----------------|---------------|------------------------|
| <i>Feriale</i> | 07:00 - 17:00 | 4.68 |
| | 17:00 - 23:00 | 8.84 |
| | 23:00 - 07:00 | 3.64 |
| <i>Festivo</i> | 07:00 - 17:00 | 3.64 |
| | 17:00 - 23:00 | 10.4 |
| | 23:00 - 07:00 | 3.64 |

Anche per quel che concerne l'uso della ventilazione si è utilizzato lo stesso metodo.

| Giorni | Ore | Vol/h |
|----------------|---------------|--------------|
| <i>Feriale</i> | 07:00 - 17:00 | 0.30 |
| | 17:00 - 23:00 | 0.25 |
| | 23:00 - 07:00 | 0.25 |
| <i>Festivo</i> | 07:00 - 17:00 | 0.50 |
| | 17:00 - 23:00 | 0.30 |
| | 23:00 - 07:00 | 0.25 |

Durante questo lavoro di Tesi verrà valutato il solo comportamento invernale dell'edificio. Ne consegue quindi che verrà impostato un profilo di funzionamento valido unicamente per l'impianto di

riscaldamento. Questo inoltre non verrà dettagliato nè quindi è stato rilevato ma si è proceduto con l'impostazione di un impianto fittizio, a potenza infinita. Questo tipo di impostazione permette di simulare il fabbisogno ideale utile all'ambiente per raggiungere una data temperatura di SetPoint, in quanto l'impianto disponendo di energia illimitata genererà immediatamente l'intera quota di calore richiesto. Si è scelto di ipotizzare un utilizzo della climatizzazione che possa essere verosimile per un utenza in età lavorativa. L'impianto infatti si accenderà 3 ore al mattino, dalle 06:00 alle 09:00 e rimarrà spento durante il giorno, fino alle 16:00 del pomeriggio e rimarrà acceso per più tempo, fino alle 23:00 per riscaldare maggiormente l'ambiente per la notte.

Non verranno trattati inoltre temi come la *ventilazione meccanica*, la generazione e distribuzione di *Acqua Calda Sanitaria* nè la quantità di *umidità dell'aria*.

E' stato inoltre calcolato il fattore di forma dell'edificio come:

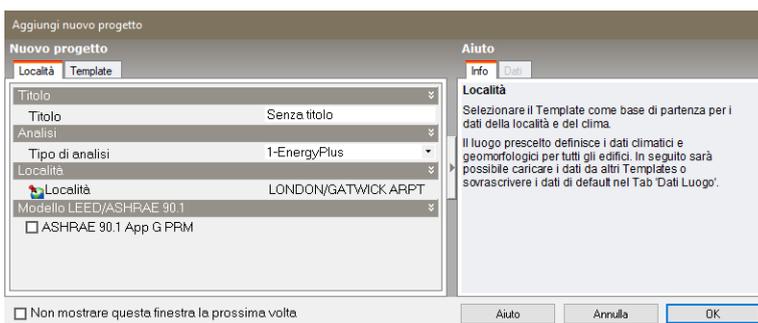
$$\text{Fattore di forma} = \frac{\text{Superficie}_{\text{Involucro}}}{\text{Volume}_{\text{Climatizzato}}} = \mathbf{0.45 \text{ } ^1/\text{m}}$$

Il modello energetico in Design Builder

4.4

Come già descritto precedentemente, si è scelto di sottoporre il file gbXML al motore di calcolo EnergyPlus. Per fare questo si è scelto però di dialogare con il software che ne rappresenta l'interfaccia maggiormente *user friendly*: **Design Builder**.

Prima di importare un gbXML è necessario creare un nuovo file.



Sarà possibile dare un nome al progetto e inserire la località del sito. Ogni località è collegata con uno specifico file climatico. Date le esigenze di uniformità dei dati di input dei modelli basati su gbXML e IFC esplicitate nel paragrafo 3.3 di questo volume, sarà necessario creare una nuova località che attinga ad un file climatico univoco descritto su base oraria. Sarà sempre possibile cambiarla più avanti.

La schermata del software verrà sempre divisa verticalmente in tre sezioni. A sinistra troviamo il navigatore, dove sarà possibile spostarci fra le zone termiche che compongono il progetto; al centro c'è l'ambiente 3D e le schede di ogni ambito del progetto; a destra troviamo una finestra di supporto all'utente dove la software house ci propone spiegazioni e soluzioni. Fig. 4.39

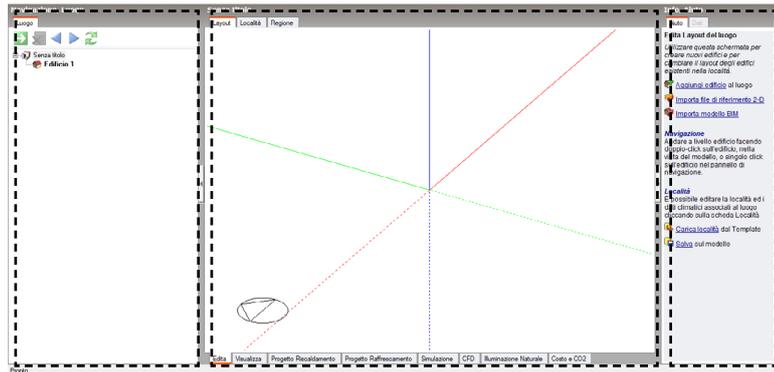


QRcode:

Creare una località in Design Builder

Fig. 4.39

Divisione verticale delle 3 aree di lavoro

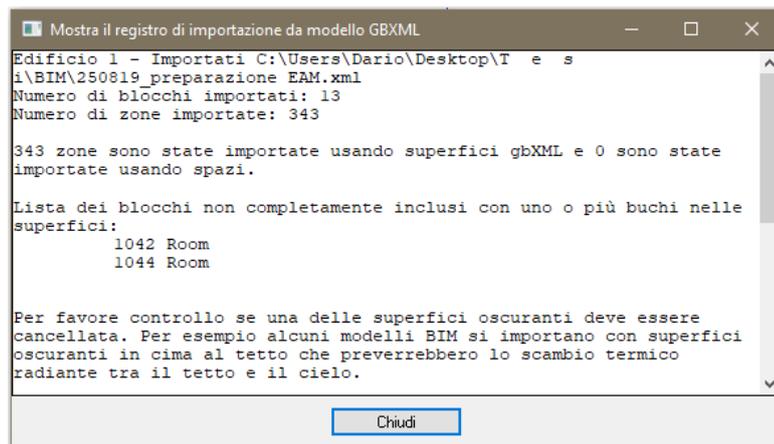


Ad ogni modo, rimarrà sempre l'area centrale quella principale.

Per importare un file e iniziare a lavorare e visualizzare il modello è necessario aggiungere, nell'area di destra, un nuovo edificio. Ora sarà possibile importare, sempre dall'area di destra, il modello BIM.

Ci verrà chiesto il tipo di formato, in questo caso gbXML, e di andare a selezionare all'interno del PC il file che si vuole importare.

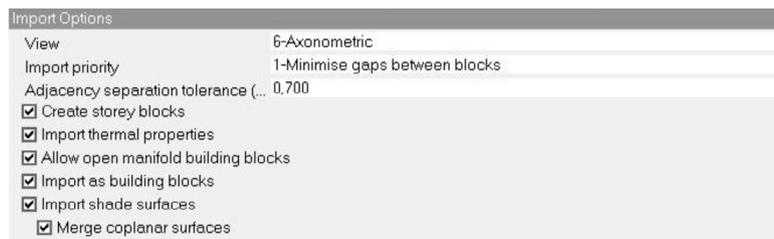
Fig. 4.40



Verrà mostrato un report utile per segnalarci eventuali errori, geometrici e non. E' opportuno ritornare nel *loop di ottimizzazione* prima di procedere, affinché questi errori siano risolti.

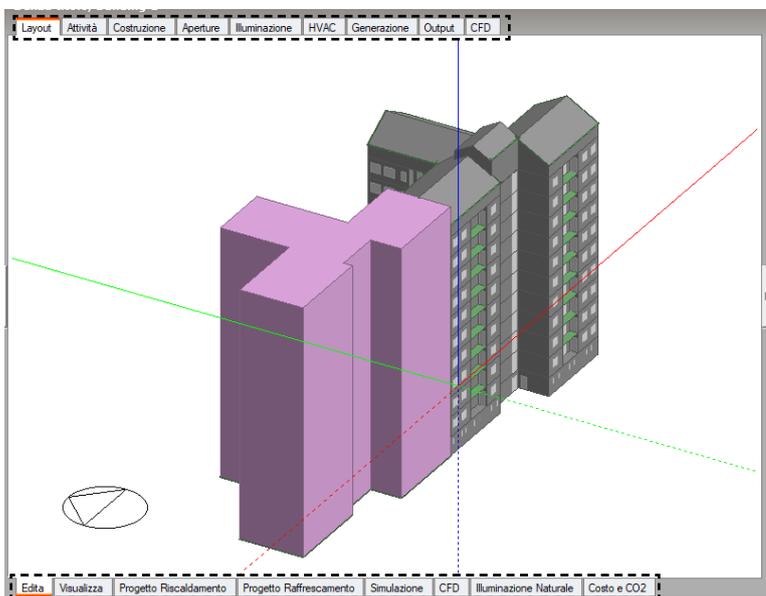
Dopodichè verranno visualizzate le impostazioni dell'importazione:

Fig. 4.41



Le funzioni *Import Priorityci* e *Adjacency separation tolerance* ci permettono di limitare, per quanto possibile, la formazione di AirGaps. Risulta fondamentale porre la spunta alla voce *Import thermal proprieties* affinché le caratteristiche termiche dei materiali vengano lette. A tal proposito si ricorda di uniformare i linguaggi dei due software (in questo caso Revit e Design Builder) per ottenere la massima interoperabilità delle stratigrafie e degli elementi dell'edificio, oltre che della nomenclatura utilizzata.

Impostando all'interno del navigatore la vista sull'edificio, nell'area centrale appariranno due strisce di schede, una in alto e uno in basso:



Una volta importato il file però si è scelto di tornare sulla versione in inglese, così da poter aiutare la comprensione a supporto di questa Tesi.

Fig. 4. 41

In basso viene proposta una sequenza fra cui scegliere impostata verso gli output di progetto. Escluso *Edita*, sezione fondamentale per poter lavorare al modello, tutte le altre schede ci proporranno dei risultati. Ad esempio *Visualizza* ci proporrà un output visivo del modello renderizzato mentre *Simulazione* ci darà i risultati delle analisi energetiche.

In alto invece è il posto dedicato all'inserimento degli **input**. Come spiegato precedentemente infatti un'analisi energetica viene condotta basandosi su alcuni dati indispensabili come le caratteristiche costruttive (*costruzione*), gli apporti interni (*attività*), la definizione degli impianti (*HAVC*) e così via.

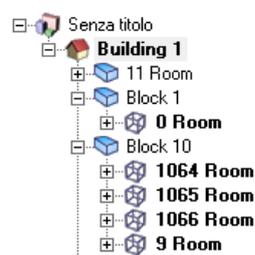
In base ai dati raccolti e descritti nel paragrafo 3.3 verrà quindi descritto come questi **input** sono stati inseriti all'interno del software.

La Zonizzazione termica

Una volta che il file importato verrà letto correttamente e senza errori, sull'area del navigatore a sinistra apparirà un menù a cascata.

Quelli che al momento della modellazione in Revit erano i piani diventeranno i *Blocchi* e quelle che erano le *Rooms* distribuite su ogni piano ora saranno comprese all'interno del blocco.

Fig. 4.42

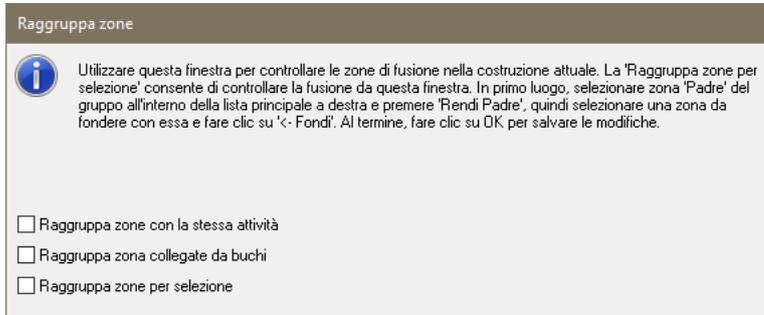


Come spiegato nel paragrafo precedente riguardante gli accorgimenti da utilizzare in fase di modellazione BIM, risulta molto comodo impostare in nomi delle Room inserite con un criterio. Ad esempio per il caso studio si è scelto di differenziare le rooms climatizzate da quelle non-climatizzate, che sono state numerate con numeri nell'ordine della decina. Nell'immagine la room numero 9 rappresenta il vano scale mentre le rooms 1064, 1065 e 1066 sono gli appartamenti climatizzati. Questi quattro ambienti sono all'interno del *block 10*, che rappresenta il 9° piano. Lo sfasamento del numero del piano con il numero del blocco è dovuto al fatto che il pian terreno viene identificato col nome *block 1*.

L'organizzazione del navigatore è gerarchica. Questo significa che gli input che verranno inseriti quando abbiamo selezionato l'intero edificio, come nella Fig. 4. 42, verranno *a cascata* riprodotti nelle zone circostante. E' però una metodologia **Top-Down** e questo significa che non sarà possibile fare il contrario, inserendo un'informazione particolare in una room non la visualizzeremo nelle altre.

Dopo aver effettuato alcune simulazione ci si è accorti dell'esigenza

di ridurre le tempistiche di calcolo per mantenere un'elevata operatività. Un accorgimento per ridurre questi intervalli è quello di raggruppare le zone simili.



QRcode:

Raggruppare le Zone in Design Builder.

Selezionando Raggruppa zone per selezione sarà possibile unire una o più zone simili. Essendo il caso studio un edificio monotono di 10 piani identici fuori terra, si è scelto di unire le zone che vanno dal secondo al nono piano, ovvero termicamente gemelle, mentre sono state lasciate libere le zone del primo e dell'ultimo piano, che sono le zone con un fabbisogno maggiore perché aventi più superficie disperdente a contatto con ambienti non climatizzati. A titolo esemplificativo col **QRcode** qua a lato è possibile visualizzare il procedimento per l'unione delle room dei vani scala. Se l'unione sarà avvenuta correttamente nel navigatore i nomi delle zone unite appariranno in blu.

Dati utenza

Per ognuna delle schede superiori (*Attività, Costruzione, Aperture, Illuminazione e HAVC*) è possibile impostare un **Template**.

Un Template è un modello predefinito che consente di compilare i diversi campi a disposizione seguendo un preciso profilo. Design Builder propone di default numerosi Template ma spesso capita di doverne impostare uno creato ad hoc per il manufatto da analizzare. Di seguito verrà descritto come sono stati impostati i template per comunicare al software i dati input del caso studio.

Come già esplicitato in precedenza si è scelto di raggruppare sotto un'unica tipologia di apporto le differenti fonti di energia quali persone, illuminazione e apparecchiature.

Fig. 4.43



Come si può vedere nella Fig 4.43 sotto la voce *Occupazione*, non è stata descritta la densità di persone a metro quadro poichè questa componente si è scelto di calcolarla sotto la voce *Dispositivi di Ufficio*.

Alla voce Power density è stato impostato il picco di potenza che verrà rilevato durante la settimana mentre subito sotto si può inserire il programma secondo il quale gli apporti interni varieranno. Impostando un programma 7/12 sarà possibile descrivere un programma di utilizzo per ogni giorno della settimana (7) e per ogni mese (12). Fig. 4.44

| Generalità | | | | | | | |
|---|---------|---------|-----------|------------------|---------|---------|----------|
| Nome Occupazione e Apparecchiature MIRAFIORI | | | | | | | |
| Descrizione | | | | | | | |
| Fonte | | | | | | | |
| Categoria | | | | <Generale> | | | |
| Regione | | | | General | | | |
| Tipo di programma | | | | 1-Programma 7/12 | | | |
| Giorni di progetto | | | | | | | |
| Definizione giorno di progetto | | | | 2-Profilo | | | |
| Profilo giorno di progetto invernale | | | | Dtt | | | |
| Profilo giorno di progetto estivo | | | | On | | | |
| Profili | | | | | | | |
| Mese | Lunedì | Martedì | Mercoledì | Giovedì | Venerdì | Sabato | Domenica |
| Gen | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Feb | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Mar | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Apr | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Mag | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Giu | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Lug | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Ago | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Set | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Dtt | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Nov | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |
| Dic | feriale | feriale | feriale | feriale | feriale | festivo | festivo |

Fig. 4. 44

Procedendo con la creazione di un profilo di utilizzo lungo la giornata si può descrivere quanto di quel picco inserito inizialmente in Fig. 4. 43 di $10.4 \text{ W/m}^2.\text{K}$ verrà generato ad una data ora.

Il valore di $10.4 \text{ W/m}^2.\text{K}$ rappresenta il picco generato nei giorni festivi dalle 17:00 alle 24:00, come da prospetto 11 delle UNI TS 11300. Tutti le altre ore del giorno saranno tarate su una percentuale rispetto a quel picco massimo.

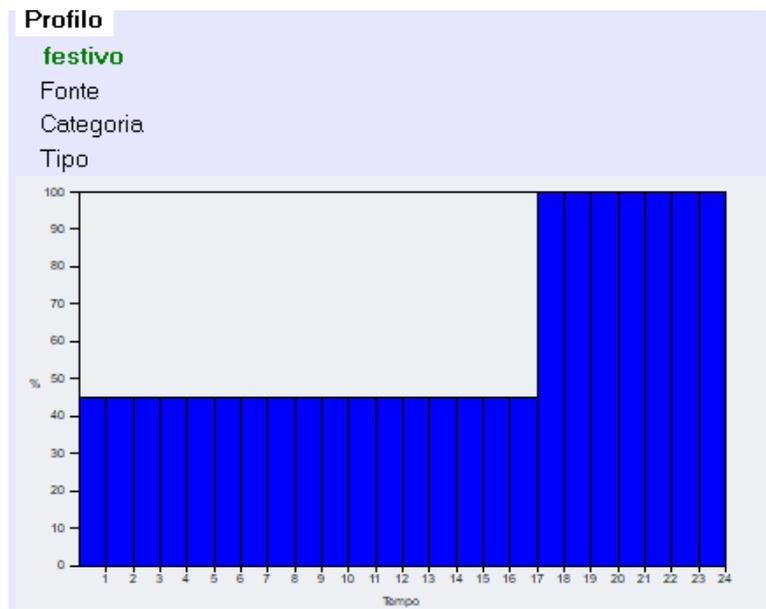


Fig. 4. 45

Programma apporti interni in una giornata festiva



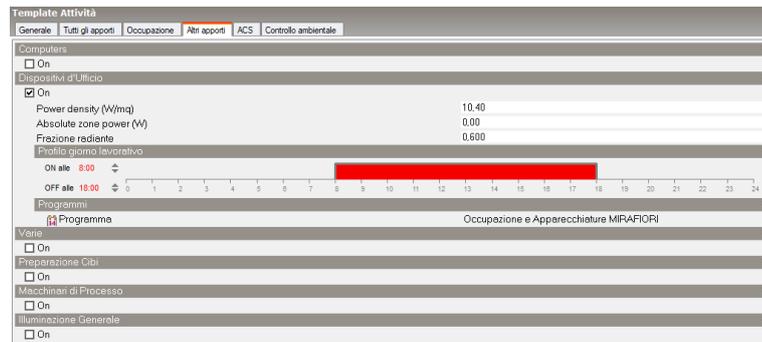
QRcode

Ad esempio si vede nella Fig. 4. 45 come, appunto, dalle 17:00 alle 24:00 gli apporti siano al 100% del picco, ovvero $10.4 \text{ W/m}^2.\text{K}$, mentre il resto della giornata si attesti al 45%, ovvero $3.64 \text{ W/m}^2.\text{K}$.

Come creare un profilo di utilizzo in Design Builder

All'interno del Template attività sarà possibile impostare un *profilo giorno lavorativo* di utilizzo dei *dispositivi d'ufficio*. Si segnala che in caso di descrizione di un programma, come nel caso della Fig 4. 46, anche se venisse esplicitato un profilo, descritto nell'immagine in colore rosso, il software non ne terrebbe conto perché utilizzerebbe di dati del *programma*. Fig. 4.46

Fig. 4.46



Anche per il tema della **ventilazione** è stata applicata una semplificazione. Partendo dai dati tabellari del paragrafo 3.3 ottenuti attraverso la sintesi dei dati proposti dalla UNI TS 11300, si è andati a riprodurre il comportamento settimanale in un programma specifico. Si è scelto però di trattare la ventilazione naturale come *Permeabilità all'aria* sotto la scheda *Costruzione*, poiché questa permetteva di maneggiare più facilmente il dato. La voce *Permeabilità all'aria* infatti è stata pensata per segnalare passaggi di aria costanti anche non volontari, come ad esempio quelli dovuti a serramento non completamente preformanti o tubazione che passano dall'esterno all'interno senza essere ben isolate. Potendo esprimere però un Vol/h distribuito lungo un profilo di utilizzo è risultato il metodo migliore per applicare i dati d'input.

Fig. 4.47



Come si vede nella Fig 4.47 infatti è stato specificato un carico

massimo, ovvero **0.5 Vol/h** che verrà distribuito secondo un programma specificato, anche in questo caso un programma creato ad hoc.

La componente impiantistica rappresenta la frazione maggiore di apporti interni all'interno di un ambiente. La scheda designata alla descrizione degli impianti di riscaldamento e raffrescamento è quella denominata **HVAC***.

** Heating, Ventilation and Air Conditioning*

E' doveroso precisare nuovamente però che in questo lavoro di tesi non verrà toccato né dettagliato questo capo. Questo lavoro infatti si prefigge l'obiettivo di andare ad esplorare l'iter che da una modellazione architettonica porta all'analisi energetica indirizzata all'ottenimento del Fabbisogno utile del caso studio. Questo indicatore rappresenta il fabbisogno ideale di energia di cui un ambiente ha bisogno per mantenere una temperatura fissata e trascende dalla componentistica che andrà a formare l'impianto di condizionamento. In questo tipo di analisi quindi si ipotizza che la potenza dell'impianto sia infinita e che immediatamente possa fornire la quantità di energia necessaria per raggiungere la temperatura prefissata; da qui prende l'aggettivo di Fabbisogno *ideale*.

Il software ci permette questo tipo di studio andando a selezionare le impostazioni corrette.



Fig. 4. 48

Nelle *Opzioni Modello* sarà possibile indicare che il **dimensionamento dell'impianto** dovrà essere impostato su *Sufficiente*, ovvero sufficientemente potente per garantire lo stato di comfort prefissato nelle ore specificate. E' infatti ovviamente possibile anche con questa impostazione di potenza infinita andare

a specificare gli orari di accensione e spegnimento dell'impianto. Va detto però che con questa modalità di generazione del calore viene leggermente trascurato l'effetto della capacità termica degli ambienti, in quanto il software andrà a raggiungere la temperatura prefissata immettendo la necessaria energia immediatamente, senza la possibilità di tener conto dell'accumulo termico.

Ad ogni modo, si è ipotizzato un profilo di utilizzo del sistema di climatizzazione adattato ad un utenza adulta lavoratrice tradizionale. L'impianto risulterà acceso tre ore al mattino, dalle 6:00 alle 9:00 e rimarrà spento quando, si ipotizza, l'utenza sarà fuori dall'appartamento. Tornerà ad accendersi alle 16:00 e rimarrà in funzione per un lasso maggiore di tempo, fino alle 23:00 così da poter disporre di più calore nelle ore notturne. Il sabato e la domenica invece l'impianto sarà acceso dalle 7:00 alle 23:00.

Fig. 4.49



Nella scheda HVAC è possibile specificare il programma sopra descritto. Volendo sono disponibili ulteriori informazioni come il tipo di *combustibile*, il tipo di *terminale* e il suo *rendimento*. Fig 4. 49

Va detto però che tutte queste informazioni non avranno capacità di incidere nell'analisi poiché è stato impostato un impianto a potenza illimitata, *sufficiente*. Fig. 4. 48

Dati involucro

La scheda **Costruzione** consente di impostare tutte le caratteristiche opache delle superfici disperdenti dell'edificio. Anche in questo caso il programma ci viene incontro proponendoci alcuni template con delle strutture pre-impostate da assegnare ai diversi componenti di involucro. Ovviamente sceglierne uno di default non sarebbe coerente con l'obiettivo di valutazione dell'interoperabilità con il software sorgente Revit.

Il nuovo template proporrà di associare ad ogni possibile elemento opaco disperdente una stratigrafia determinata.



Fig. 4. 50



QRcode

Creare un Template Costruzione in
Design Builder

Questo passaggio risulta molto interessante per il tipo di studio condotto da questo lavoro.

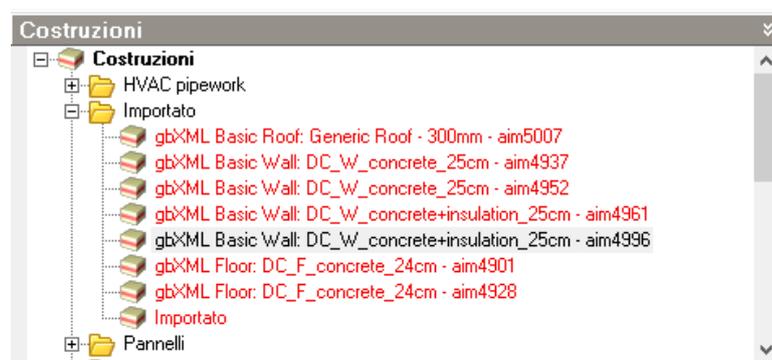
Qui è possibile capire il vantaggio che può dare una buona **interoperabilità** fra software. Andando a riempire le vari voci differenziate principalmente per adiacenza della superficie sarà possibile, se sono state modellate correttamente, andare a scegliere le stesse stratigrafie impostate nel file BIM.

E' però da segnare che a differenza della stratigrafia della parete, il passaggio del nome del materiale che la compone non è avvenuto perfettamente. Si nota che le stratigrafie correttamente denominate sono composte da layers con i corretti dati termici e geometrici, ma con un nome generico "*imported*". Nonostante apparentemente questo non causasse problemi, visto il corretto posizionamento all'interno dell'elemento, si è dovuto intervenire poiché in fase di

analisi sono stati riscontrati errori di omonimia dei materiali che ostacolavano il procedimento. Impostando il software di arrivo, Design Builder, in lingua inglese, ovvero la medesima del software di origine Revit è possibile ovviare a questo problema.

L'unico problema di cui non è stata possibile individuare la causa è stata l'importazione di stratigrafie gemelle all'originale, ma speculari. È possibile notare (Fig. 4.51) infatti che per la stratigrafia a contatto con l'ambiente esterno, in Revit denominata *DC_W_Concrete+Insulation_25cm* esistono due stratigrafie importate. È stato quindi necessario andare a visionare l'ordine dei materiali per individuare quella corretta. Non è stato possibile individuare la causa di questo errore.

Fig. 4.51



Per quanto concerne l'involucro trasparente, la scheda designata prende il nome di *Aperture*. In questa scheda sarà possibile impostare le aperture trasparenti e i serramenti opachi interni come le porte.

Si segnala che questo argomento è stato reputato il più carente sotto il profilo dell'interoperabilità. Con i dovuti accorgimenti, alcuni dei quali raccontati nel **paragrafo 4.2**, infatti sarà possibile solamente mantenere un parziale dato geometrico. Viene ritenuto parziale poiché solamente l'area netta occupata dal serramento viene riconosciuta. Le informazioni come la posizione nello spessore del muro del serramento, il rapporto fra telaio e vetro e finanche l'esistenza del telaio sono dati che non passeranno al momento dell'esportazione del file gbXML.

Inoltre va detto che il modo di gestire gli elementi trasparenti

di Design Builder non lascia molta possibilità di specificare i serramenti. Vi è infatti anche qui di esplicitare un template delle vetrate, nelle quali si può comunicare la tipologia di vetro e la tipologia di oscuranti se presenti e la tipologia di telaio, entrambi con le proprie caratteristiche termiche. Queste caratteristiche però, essendo un template, verranno applicate a tutti i serramenti della zona climatica, senza possibilità di differenziare. Va detto che anche per le strutture opache esiste questa rigidità, che viene però ritenuta accettabile poiché è più comune incontrare lo stesso tipo di muro perimetrale ad esempio che lo stesso tipo di serramento per unità abitativa.

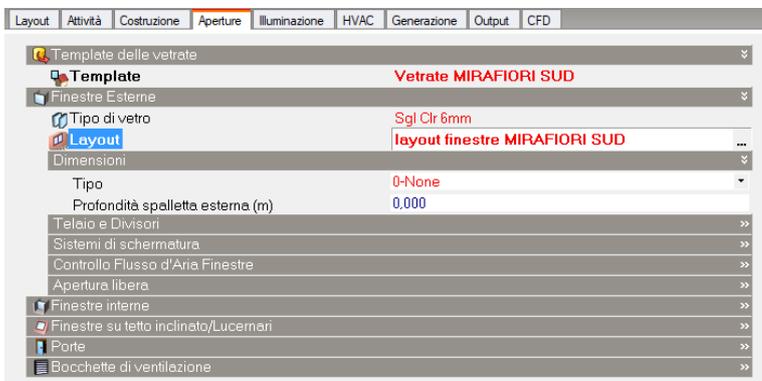


Fig. 4. 52

Si segnala inoltre che per questo motivo non viene fornita la trasmittanza del serramento, in quanto questa è strettamente connessa alle proporzioni geometriche fra vetro e telaio, e quindi risulterebbe impossibile fornirne una generica adatta a tutti gli elementi.

Si ricorda che in questo lavoro di Tesi sono state escluse le seguenti istanze:

- *Ventilazione meccanica*
- *Raffrescamento*
- *Acqua calda sanitaria (ACS)*
- *Controllo umidità*
- *Profilo utilizzo schermature solari*

Il modello energetico in EC700

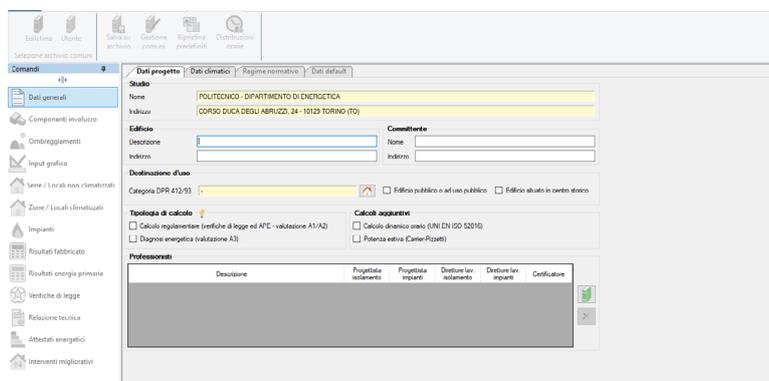
4.5

Per quanto riguarda il file IFC, verrà importato all'interno di **EC700 versione 9.19**. Questa versione è, ad oggi 2019, la più recente e completa disponibile per questa linea di software proposti da **EdilClima** in quanto propone un modulo di calcolo orario.

Come per il precedente software, Design Builder, non sarà possibile importare il file prima di aver svolto alcuni passaggi.

Dopo aver creato un nuovo file risulta evidente quanto le possibilità di navigazione all'interno del programma siano limitate, in quanto quasi tutte le funzionalità siano oscurate. Fig. 4. 53

Fig. 4.53



Bisognerà anzitutto andare ad indicare destinazione d'uso dell'edificio scegliendo fra le categorie proposte dal **DPR 412/93**. In secondo luogo è essenziale specificare la tipologia di calcolo. In questo caso è stata spuntata l'opzione del calcolo dinamico orario basato sulla UNI EN ISO 52016. Subito ci verrà comunicato che proseguendo con questo tipo di calcolo non sarà possibile produrre attestati energetici e verifiche di legge. Fig. 4. 54

Questo avviso è conseguenza del fatto che a differenza di Design Builder, EC700 è un software commerciale che vede la sua fortuna nell'offrire la possibilità di redigere APE. Tuttavia, come esplicitato nel paragrafo 1.3, l'apparato legislativo e normativo risulta monco sotto questo versante se si sceglie di muoversi in un regime dinamico, come in questo caso.

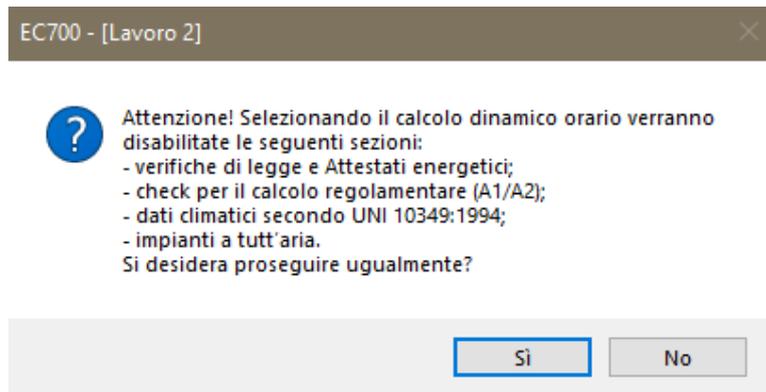


Fig. 4. 54

Sarà inoltre definire la località prima di poter proseguire. Procedendo nella schermata successiva ai *Dati progetto* troviamo i *Dati climatici*. Attingendo alla UNI 10349:2016 il programma propone differenti località. Per motivi di coerenza fra i dati di input verranno però inseriti altri dati il più possibile uguali a quelli inseriti in Design Builder.

A questo punto sarà disponibile l'opzione di importazione del file IFC.



QRcode

Impostare un nuovo progetto IFC in
EC700

La Zonizzazione termica

Secondo l'organizzazione del software, l'area designata alla gestione delle zone termica è quella denominata *Zone/ Locali Climatizzati*.

Fig. 4.55

| N° | Cat | Descrizione | Sup. netta [m²] | Vol. lordo [m³] | Sup. lorda [m²] | S/V [m⁻¹] |
|----|---------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 1 | E 1 (I) | 1 | 363,27 | 1351,47 | 524,55 | 0,68 |
| 2 | E 1 (I) | 2 | 363,27 | 1303,20 | 503,67 | 0,39 |
| 3 | E 1 (I) | 3 | 363,27 | 1303,20 | 503,67 | 0,39 |
| 4 | E 1 (I) | 4 | 363,27 | 1303,20 | 503,67 | 0,39 |
| 5 | E 1 (I) | 5 | 363,27 | 1303,20 | 503,67 | 0,39 |
| 6 | E 1 (I) | 6 | 363,27 | 1303,20 | 503,67 | 0,39 |
| 7 | E 1 (I) | 7 | 363,27 | 1389,74 | 540,98 | 0,39 |
| 8 | E 1 (I) | 8 | 363,27 | 1303,20 | 503,67 | 0,39 |
| 9 | E 1 (I) | 9 | 363,27 | 1303,20 | 503,97 | 0,39 |
| 10 | E 1 (I) | 10 | 363,27 | 1303,47 | 524,55 | 0,68 |

| Dati edificio | | | | | |
|----------------------|----------|----------|----|---|----------|
| | NETTO | LORDO | | | |
| Superficie in pianta | 3632,70 | 4022,23 | m² | Superficie esterna lorda (con strutture tipo N) | 13155,91 |
| Volume | 10968,28 | 11025,09 | m³ | Superficie esterna lorda (con strutture tipo N) | 6919,77 |
| | | | | Superficie esterna lorda (con strutture tipo R) | 5915,77 |
| | | | | Rapporto S/V | 0,46 |

Tuttavia quest'area non risulta efficiente e attendibile, se non per alcuni dati come quelli evidenziati in basso in giallo nella Fig. 4. 55. Seppur possedendo una modalità di inserimento *Top-down*, simile a quella di DB, l'imputazione e la trasmissione dei dati dalla zona al locale non risulta del tutto attendibile. Più volte è stato notato infatti che i dati specificati in ogni locale o zona venissero dimenticati e portati alla versione precedente in seguito ad un calcolo dell'edificio. E' stato quindi necessario trovare una strada alternativa per la suddivisione delle zone.

DB : Design Builder

A differenza di DB dove il calcolo risultava più snello se questo avveniva su zone che raggruppavano la maggior quantità possibile di locali, in EC700 risulta vero l'opposto. Questo programma in fatti riesce a maneggiare meglio e in maniera più efficiente il calcolo quando le zone sono scomposte il più possibile. In un primo momento è stato deciso di creare un'unica zona con tutti e 30 gli appartamenti al suo interno (in Revit Room). Ne è risultato un calcolo di 4 ore circa. Creando invece 10 zone, una per ogni piano, contenete 3 locali ognuno, come in Fig 4.55, il tempo di analisi si è ridotto a 15 minuti.

Inoltre la suddivisione permette di analizzare singolarmente le zone, evitando di lanciare il calcolo per tutto l'edificio in caso ne servisse una determinata parte.

Per fare questa suddivisione però risulta essenziale lavorare in fase di importazione del file IFC.

Una volta organizzate le zone termiche bisognerà andare a descrivere i profili orari di utilizzo e il *set point* della temperatura interna. Questo argomento verrà trattato nel seguente sottoparagrafo *Gli apporti interni*. Una volta che verranno creati i profili adatti che contengano le medesime informazioni contenute nel **paragrafo 3.3**, identiche a quelle inserite in DB, bisogna precedere ad imputare questi profili alle zone, in modo che le trasmettano ai singoli appartamenti, sempre all'interno di una logica *Top-Down*.

Dato che, come spiegato poche righe prima, la scheda *Zone/Locali climatizzati* non risulta attendibile bisognerà inserire questi dati all'interno dell'*input grafico*, dove è possibile visualizzare i locali inseriti all'interno degli elementi geometrici raffiguranti muri e serramenti.



QRcode:

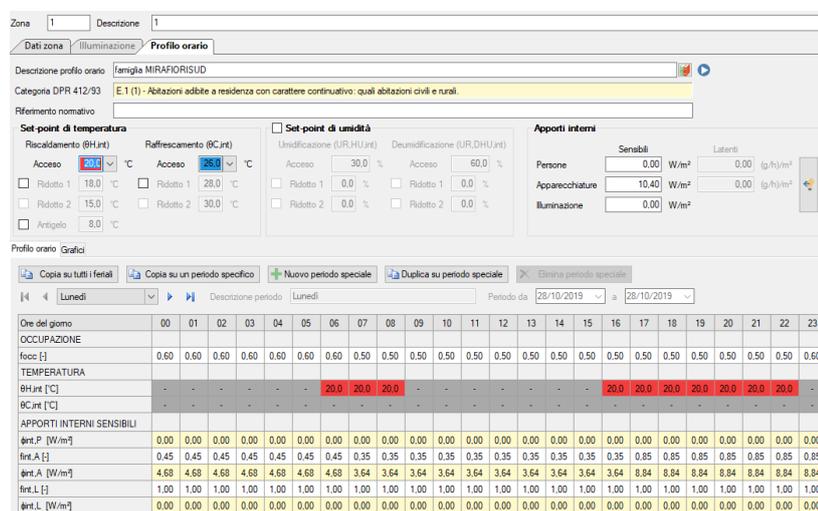
Organizzazione delle zone termiche in EC700

Dati utenza

In questo caso, carichi termici dovuti agli apporti interni e alla ventilazione sono dettagliabili nella stessa scheda. Risulta indifferente in quale sezione viene creato il **profilo di utilizzo**, se in *Zone/Locali Climatizzati* o *Input grafico*. Successivamente la creazione di un profilo ad hoc infatti verrà salvato nel database e, in un secondo momento, assegnato come descritto precedentemente nella scheda *Input grafico* a tutte le zone.

Ec700 ha la possibilità di creare dei profili di utilizzo delle zone e salvarle nell'archivio. Questi profili risultano meno specifici di quelli di DB. In questo secondo software infatti troviamo raggruppate molte più caratteristiche in un unico luogo. Qui sarà infatti possibile descrivere il programma e il carico degli apporti interni, la T di set point, il grado di umidità e il fattore occupazionale. Fig 4. 56

Fig. 4.56
Profilo orario di una Zona



Nella Fig. 4. 56 è possibile apprezzare la compattezza della maschera di inserimento dei principali dati da inserire per un'analisi energetica dinamica.

Sotto la voce apporti interni sarà possibile specificare il picco massimo degli apporti dovuti a presone, apparecchiature e illuminazione. Come nel caso precedente si è deciso di raggruppare queste informazioni sotto la voce apparecchiature, specificando un picco di 10,4 W/m²K. In basso è situata la tabella di distribuzione di tali carichi. In giallo viene evidenziata la parte modificabile, dove verrà impostata la percentuale del picco massimo che verrà espressa in quella specifica ora, mentre in bianco l'effettivo carico. Nonostante sia stato scelto di porre il carico dovuto alle persone pari a zero, è stato necessario dettagliare ugualmente un profilo percentuale che rispettasse quello inserito in DB per la **ventilazione naturale**. Al momento dell'assegnazione dell'archivio del profilo della Fig 4.56 infatti sarà possibile comunicare al software di distribuire il volume di ventilazione prefissato al fattore occupazionale.

L'espressione dei volumi per ora di scambio di aria fra esterno e interno però non è inseribile all'interno dell'archivio. Vi sono alcune informazioni che sono dettagliabili unicamente scendendo a livello del locale, e non della zona come descritto poche righe fa.



QRcode:

Assegnazione profilo orario ad una zona e ad un locale in EC700

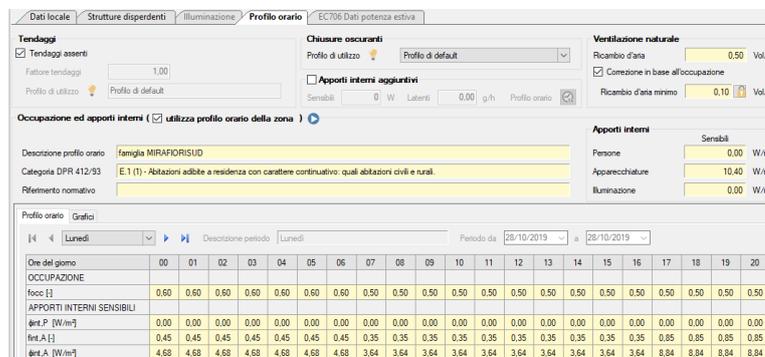


Fig. 4. 57

Profilo orario di un Locale

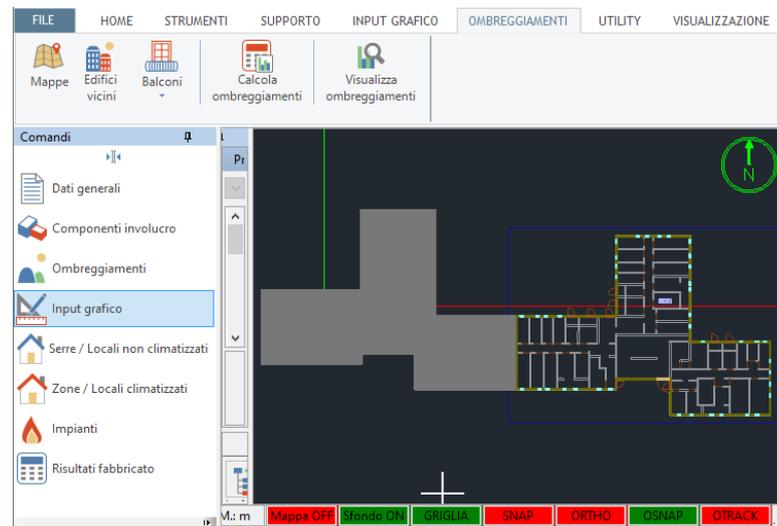
Se correttamente inserito, il profilo orario selezionando il *Locale* invece della *Zona* risulterà imm modificabile tranne che in alcune sue parti. Il software infatti delega la descrizione dell'utilizzo di chiusure oscuranti, tendaggi e la descrizione della ventilazione naturale al solo livello del *Locale*. Questo può risultare decisamente problematico se, come nel caso studio, il modello comprende numerosi locali a cui bisognerà andare a inserire manualmente i dati specifici.

Le **chiusure oscuranti** e i **tendaggi** posseggono una scheda, denominata *Ombreggiamenti*, dove sarà possibile descrivere anche per loro un profilo di utilizzo. Dato comunque che non sono stati inseriti in DB, per coerenza sono stati esclusi anche da questa analisi.

Gli ombreggiamenti sopra descritti non vanno confusi con gli ombreggiamenti esterni relazionati con l'edificio. EC700 infatti distingue, seppur utilizzando la medesima denominazione, fra gli *oscuranti interni*, come tendaggi e serrande, e gli *oscuranti esterni*, come solette dei balconi o edifici limitrofi. Questa seconda categoria sarà controllabile all'interno dell' **Input grafico**.

Fig. 4.58

Ingombro edifici limitrofi in EC700



Nelle opzioni proposte in alto vi è la possibilità di inserire graficamente gli ombreggiamenti esterni. A sinistra rispetto alla pianta del piano terreno è stato modellato l'ingombro dell'edificio limitrofo attraverso la funzione *Edifici vicini*. Disegnando la sagoma dell'edificio sarà possibile specificare l'altezza del volume.



QRcode:

Descrizione degli ombreggiamenti esterni ed esportazione dell'edificio in EC700

Per quanto riguarda le solette dei balconi dell'edificio invece, data la carenza nella lettura del dato da parte di EC700, si è dovuto procedere ad una modellazione manuale. Vista anche la limitatezza dello strumento per la modellazione, giustificata sicuramente dal fatto che non si tratti di un software nato con questa finalità, questo passaggio è stato particolarmente dispendioso.

Una volta che sono stati indicati tutti gli ombreggiamenti esterni, è fondamentale comunicarli al software attraverso il calcolo degli stessi, altrimenti questi non verranno considerati all'interno dell'analisi dinamica. E' **fondamentale** sottolineare inoltre che per far sì che ogni modifica effettuata nella scheda Input grafico venga tenuta in considerazione durante il calcolo, è essenziale **esportare il modello** tramite l'apposito tasto. Grazie alla suddivisione delle zone consigliata nel paragrafo precedente sarà possibile un'esportazione selettiva di queste.

Ec770 offre la possibilità di analizzare l'incidenza solare rispetto ai singoli elementi. Questo strumento risulta particolarmente apprezzato sia per un controllo della corretta lettura dell'ombreggiamento sia per un possibile studio su posizionamento dello stesso.

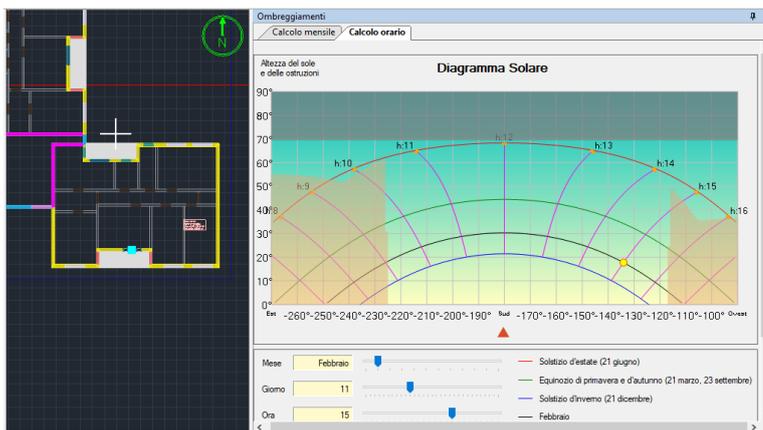


Fig. 4. 57
Visualizzazione risultati ombreggiamenti in EC700

Anche per questo programma è possibile evitare la descrizione degli impianti e impostare, nella scheda *Risultati fabbricato*, una tipologia di calcolo basata su un impianto a **potenza illimitata**.



Dati involucro

Il fatto che nel file IFC esportato da Revit manchino le informazioni riferite ai materiali che compongono gli elementi di involucro rappresenta il principale problema di interoperabilità nel processo che dal modello BIM approda al modello BEM.

In questo modello BEM sviluppato in EC700 infatti è stato necessario riprodurre nuovamente il dato delle caratteristiche termiche dei materiali. In fase di importazione infatti Verrà chiesto all'utente di assegnare un materiale presente nel database d'archivio di Ec700 ad ogni materiale rilevato nel file importato. Si ricorda infatti che all'interno del codice componente il file IFC è stata rilevata la presenza dei materiali, *IfcMaterials*, a cui però non seguono specifiche termiche.

Fig. 4.58
Assegnazione materiali in fase di importazione

| IFC | | | Edilclima | | |
|--------------------------|---------------|--------|-----------|---------------|--|
| Materiale | Spessore [mm] | Codice | Materiale | Spessore [mm] | |
| Concrete, Precast | 190,00 | | | 0,00 | |
| Concrete, Precast Panels | 300,00 | | | 0,00 | |
| Concrete, Precast Panels | 230,00 | | | 0,00 | |
| Concrete, Precast Panels | 130,00 | | | 0,00 | |
| Concrete, Precast Panels | 50,00 | | | 0,00 | |
| Plaster | 10,00 | | | 0,00 | |
| Polystyrene, Expanded | 50,00 | | | 0,00 | |
| Tile, Quary | 40,00 | | | 0,00 | |
| Tile, Quary | 10,00 | | | 0,00 | |

| Edilclima | | | | | | | | | |
|--|--------|---|----|------|---------|---------|------|-----------------|--|
| Tipologia materiale | Codice | Descrizione | Sp | M.V. | Cond | R.V. | C.T. | Nome | |
| Barriere al vapore | e101 | Barriera vapore in bitume puro | 0 | 1050 | 0.170 | 50000 | 1 | UNI EN ISO | |
| Impemeabilizzazioni | e102 | Barriera vapore in carta o cartone ... | 0 | 1100 | 0.230 | 2500 | 1 | UNI 10351 - ... | |
| Impemeabilizzazioni in bitume-A.B. ISOL... | e104 | Barriera vapore in bitume feltro /fo... | 0 | 1100 | 0.230 | 50000 | 1 | UNI EN ISO ... | |
| | e106 | Barriera vapore foglio di alluminio (...) | 0 | 2700 | 220.000 | 9999999 | 0.88 | UNI 10351 - ... | |
| | e109 | Barriera vapore in fogli di P.V.C. | 0 | 1390 | 0.160 | 50000 | 0.9 | UNI EN ISO ... | |
| | e110 | Barriera vapore in fogli di polietilene | 0 | 920 | 0.330 | 100000 | 2.2 | UNI EN ISO ... | |
| | e111 | Barriera vapore in fogli di polietilene | 0 | 980 | 0.500 | 100000 | 1.8 | UNI EN ISO ... | |

Come si vede dalla Fig. 4. 58, il nome dato al materiale in Revit e la sua posizione all'interno della stratigrafia della parete viene riconosciuto, anche se ogni materiale con spessore diverso, seppur essendo in principio lo stesso materiale, viene letto diversamente.

Ribadendo il concetto di coerenza sulla quale si deve basare un'analisi di comparazione di un processo come quella svolta in questo

lavoro di Tesi, è stato necessario andare a creare nuovi materiali all'interno del database di EC700 per far sì che questi rispecchiassero quelli correttamente letti in DB. Al momento dell'importazione infatti EC700 ti permette di poter scegliere solamente fra quelli presenti nel suo database e in fasi iniziali questo conterrà ovviamente quelli di default che poco avranno a che fare con quelli presenti nel modello BIM.

Per la creazione di nuovi materiali in EC700 il procedimento risulta poco fluido, ma comunque accettabile. Nella sezione *Strumenti* presente in alto in ogni scheda è possibile accedere alla sezione *Archivi*. Da lì bisognerà creare un nuovo gruppo *Ditta*, alla quale in un secondo momento verrà associato il materiale.

Una volta creati i materiali necessari, in fase di importazione sotto la voce Utente, visibile in Fig. 4. 58, appariranno i materiali scelti. Una volta completata l'importazione nella scheda Componenti involucro sarà possibile gestire in forma di elenco tutti gli elementi edilizi.

Anche in questo caso bisognerà andare ad agire manualmente sulle aperture. A differenza di DB questo tema non è trattato attraverso la definizione di template ma è possibile descrivere ogni tipologia di serramento. Tutta l'area dedicata al serramento in Revit, composta da telaio e vetro, qui sarà in un primo momento riconosciuta come unicamente composta dalla parte vetrata. Sarà però possibile specificare le dimensioni del telaio e la sua trasmittanza per ogni tipologia di serramento, garantendo all'utente una maggiore flessibilità nella descrizione dell'involucro. A differenza di DB, vista la possibilità di trattare ogni tipologia di serramento in modo individuale, verranno forniti risultati sulla trasmittanza del serramento.

Per quanto riguarda le porte, EC700 tratta questo elemento come se fosse un muro, spuntando però nelle sue caratteristiche la voce Porta Opaca. Nell'importazione da REvit quindi l'elemento viene letto in maniera parzialmente corretta. Infatti la natura dell'elemento

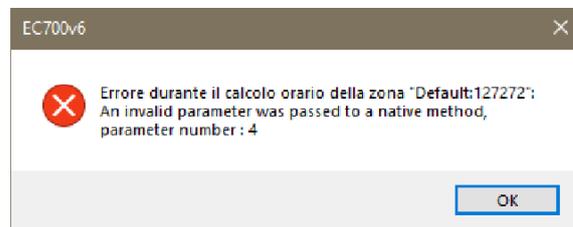


QRcode:

Creare un materiale in EC700

viene riconosciuta, ma le sue caratteristiche termiche e geometriche no. Inizialmente infatti non accorgendosi di questa caratteristica è stato provato a lanciare un calcolo dinamico; veniva però riscontrato immediatamente un errore che causava il blocco del calcolo.

Fig. 4.59
Errore dovuto alla mancanza di informazioni dell'elemento porta



Ritornando quindi su Componenti involucro è stato possibile inserire lo spessore e la trasmittanza dell'elemento porta e continuare così con l'analisi.

Analisi risultati energetici

4.6

Avendo descritto nei capitoli precedenti le impostazioni utilizzate per la descrizione del Building Energy Model, si è proceduto a lanciare le simulazioni sui due software. In primo luogo si è proceduto con una verifica della coerenza individuale dei programmi usati per la simulazione energetica. In questo modo è stato possibile verificare le possibilità offerte da Design Builder e EC700 di analizzare i propri risultati per verificare che fossero coerenti con i dati di input. Di seguito verrà quindi proposta un'analisi isolata dei risultati dei due percorsi e successivamente, nel prossimo paragrafo verrà proposta un'analisi congiunta di essi, capace di far risaltare anomalie dei due metodi.

Design Builder

Questo software offre un'interfaccia ricca di risultati organizzati sotto diverse categoria di dati.

Fra la serie di schede di analisi proposte nella parte bassa dell'area centrale troviamo la funzione **Simulazione**. Al suo interno si individuano due sotto schede, *Analisi*, dove è possibile vedere e filtrare i risultati divisi per categorie, e *Riepilogo*, dove verranno forniti i dati globali dell'edificio.

Per verificare la coerenza della relazione fra le diverse temperature della simulazione si è scelto di confrontare l'andamento di esse durante una settimana con l'impianto termico spento con una con il sistema in funzione (**Grafici 2 e 3**). Si noti come le tre temperature interne dell'edificio seguano lo stesso andamento in quanto dipendenti fra loro. Nel grafico 3 le tre temperature interne all'edificio sono strettamente collegate e influenzate dall'abbassamento e l'innalzamento della temperatura esterna. Queste tendono a distaccarsi fra di loro in maniera minima, in quanto quasi nessuna sollecitazione agisce su di esse, data l'assenza di un impianto di climatizzazione. Quando invece quest'ultimo è in funzione, le tre linee si discostano dall'andamento della temperatura esterna, raggiungendo anche differenze notevoli fra di loro.

*Temperatura media Radiante,
Temperatura Operante e
Temperatura Aria interna*

Il **Grafico 1** è stato confrontato con il **2** ed evidenzia l'andamento degli apporti dovuti al riscaldamento con l'andamento della temperatura esterna. Si noti il corretto funzionamento dell'impianto che segue il profilo descritto nello specifico Template. Questa linea infatti raggiunge lo zero quando l'impianto è spento. A livello più generale è evidente come quando la temperatura esterna, sul finire della settimana, tende ad abbassarsi, l'energia immessa tende ad aumentare, per mantenere in ambiente la temperatura di set-point. .

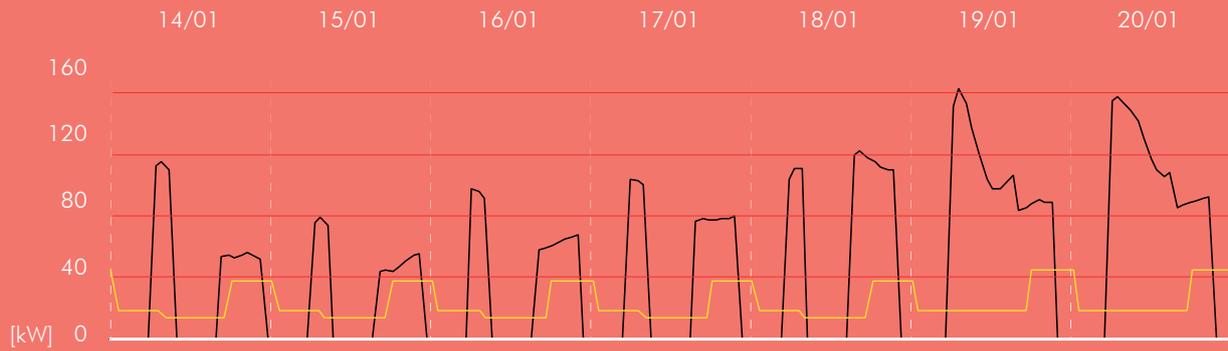


Grafico 1

Andamento degli apporti interni (linea gialla) e del carico termico di riscaldamento (linea nera);



Grafico 2

Andamento delle temperatura a livello dell'edificio durante la settimana di analisi;

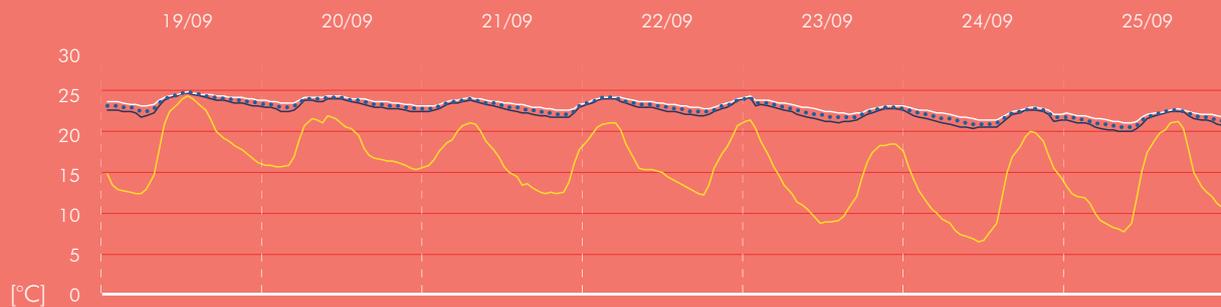


Grafico 3

Andamento delle temperatura a livello dell'edificio durante l'ultima settimana di Settembre, con l'impianto spento;

- Temperatura Aria interna
- Temperatura Operante
- Temperatura media radiante
- Temperatura Aria esterna

I **Grafici 4 e 5** sono utili per verificare le differenze dovute alle differenti caratteristiche di orientamento. Viene infatti simulato il comportamento di due appartamenti orientati in maniera differente fra di loro, denominati momentaneamente *unità A* e *B*. L'unità A ha un orientamento *Est-Ovest* mentre il B *Nord-Sud*. Godendo di una esposizione privilegiata l'unità A presenta un maggiore apporto energetico dovuto all'irradiazione solare. Ne consegue quindi che questa presenti una richiesta di fabbisogno inferiore per soddisfare il *set-point* dell'aria interna posto a **20 °C** .

Design Builder offre la possibilità di analizzare anche alcuni dati dei locali non climatizzati.



Grafico 4

In nero il carico termico di riscaldamento dell'unità A, in giallo quello dell'unità B

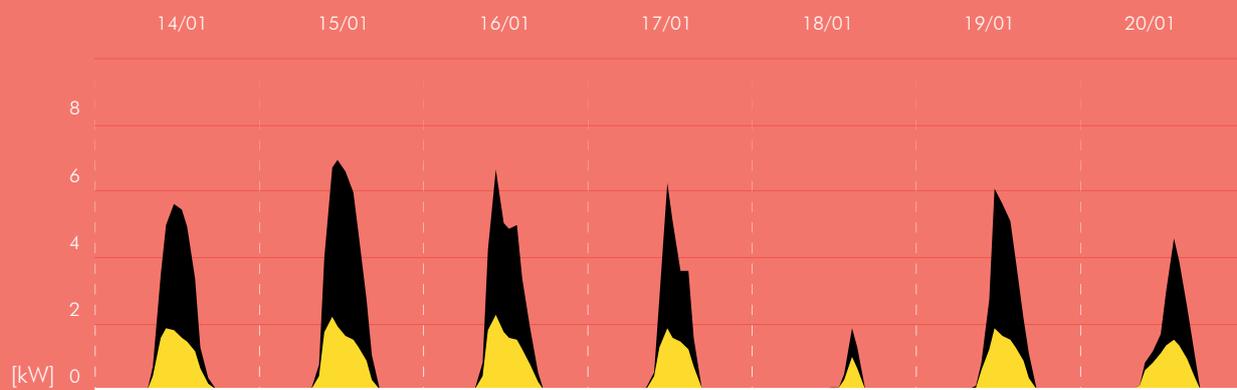


Grafico 5

In nero i guadagni termici solari dell'unità A, in giallo quello dell'unità B;

EC700

A differenza del precedente programma, il software di EdilClima offre una minor possibilità di lettura ed analisi dei dati. Non è infatti possibile dividere i diversi apporti interni agenti sull'ambiente climatizzato, ma verrà solo fornito il dato relativo all'energia richiesta per l'impianto. Si segnala che, sempre a differenza del precedente programma, per l'analisi dinamica oraria non sarà possibile scegliere l'intervallo di simulazione. Lanciando l'analisi infatti verrà calcolato l'intero anno e non vi è modo di alleggerire il procedimento, se non attraverso l'unione delle zone termiche come suggerito nel **paragrafo 4.5**. Non potrà essere approfondito il comportamento dei singoli locali ma unicamente delle zone termiche. Si ricorda che in questo caso studio per motivi di facilità di gestione e calcolo la zona termica comprende tre appartamenti e rappresenta quindi un piano.

Non è inoltre possibile analizzare i risultati provenienti dai locali non climatizzati.

Nei **Grafici 7 e 8** viene rilevato il corretto andamento delle diverse temperature analizzate in due settimane molto diverse fra loro: il **Grafico 7** descrive la settimana centrale di Gennaio con l'impianto di riscaldamento acceso, nell'**8** invece l'impianto è spento e la settimana descritta è l'ultima di Settembre.

Non essendo stato possibile confrontare singoli locali o componenti di involucro si è scelto di riportare il fabbisogno e l'andamento della temperatura operante di due zone che dovrebbero avere comportamenti diversi: l'ultimo piano e un piano tipo intermedio. Come è stato infatti dimostrato dal **Grafico 6**, la maggior superficie disperdente verso un ambiente che non sia climatizzato causa nell'ultimo piano dell'edificio una maggiore richiesta di energia per mantenere la temperatura di set-point, temperatura che, come si vede dal **Grafico 7**, scende rapidamente dopo lo spegnimento dell'impianto.

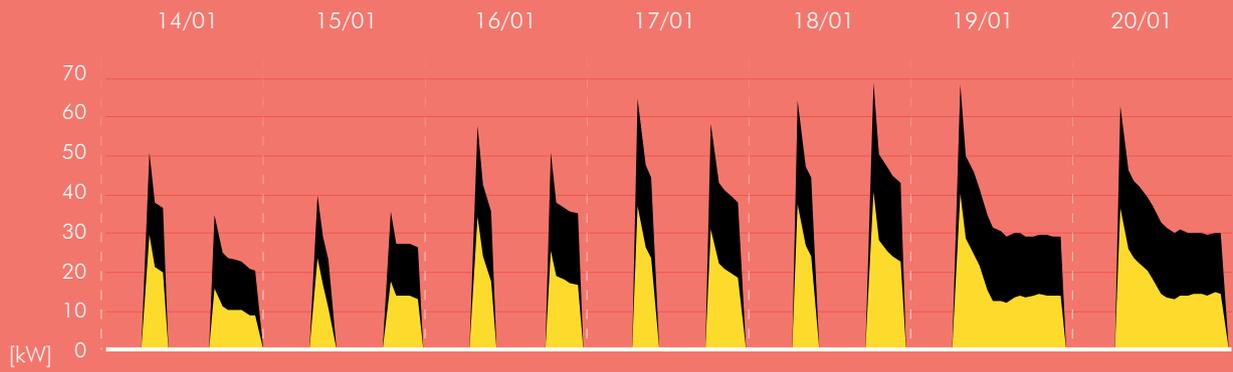


Grafico 6

In nero il carico energetico richiesto dall'impianto per l'ultimo piano, in giallo quello richiesto di un piano intermedio;



Grafico 7

Andamento delle temperatura a livello dell'edificio durante la settimana di analisi;

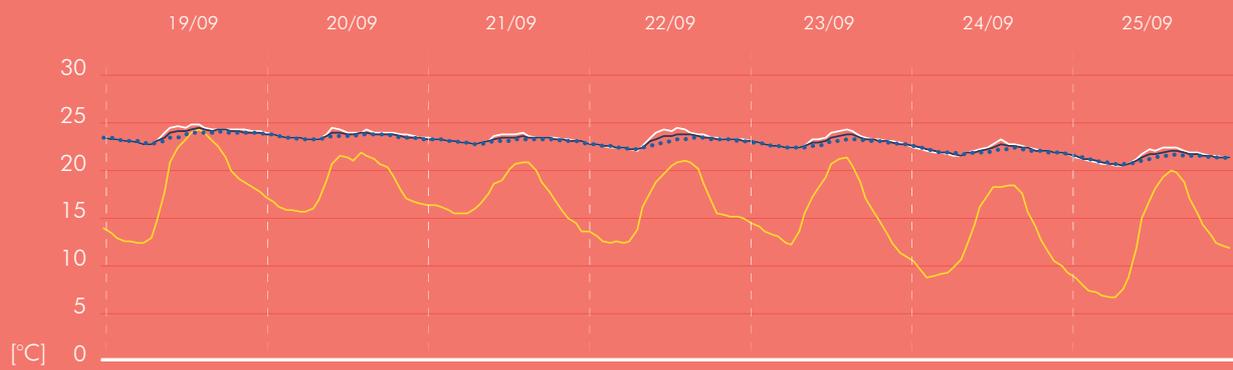


Grafico 8

Andamento delle temperatura a livello dell'edificio durante l'ultima settimana di Settembre, con l'impianto spento;

- Temperatura Aria interna — Temperatura Operante
- Temperatura media radiante — Temperatura Aria esterna

Confronto fra modelli

4.7

Dopo aver esplorato ed esaminato le possibilità di analisi dei risultati offerte dai due programmi, si è proceduto al confronto diretto. Benché le due simulazioni risulti coerenti con loro stesse, non è possibile dire lo stesso se vengono poste in relazione.

Un primo passo è rappresentato dall'accostamento dei due fabbisogni stagionali ottenuti:

| <i>Software</i> | <i>Fabbisogno ideale utile</i> | <i>Differenza %</i> |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Design Builder | 2 6 8 1 9 0 <small>kWh/anno</small> | 29.2% |
| EC700 | 3 4 6 7 5 0 <small>kWh/anno</small> | |

Risulta evidente come lo scarto fra i due risultati risulti inaccettabile se si parte dal presupposto che sono stati inseriti gli stessi input.

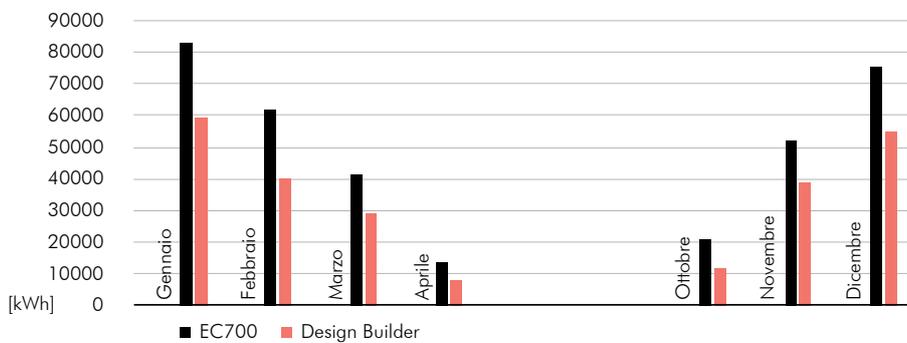
Le cause di una così grande differenza sono state individuate nel modo dei due software di considerare alcuni fattori durante la simulazione. Già dall'abstract di questa tesi è stato sottolineato come i due basino le loro regole di calcolo su due sistemi differenti. Design Builder si basa sul motore di calcolo **Energy Plus**, mentre EC700 si appoggia alla finora unica norma europea e italiano di calcolo dinamico, la **EN UNI 52016**.

Confrontando i risultati ottenuti sono stati individuate **4 differenze** di trattamento dei dati di input, alcune delle quali è da ricondurre la differenza di Fabbisogno netto:

- Differente elaborazione dei *dati climatici* di partenza;
- Differente calcolo della *capacità termica areica*;
- Differente valutazione delle *frazioni convettive*;
- Differente modalità di descrizione della temperatura di *set-point*;

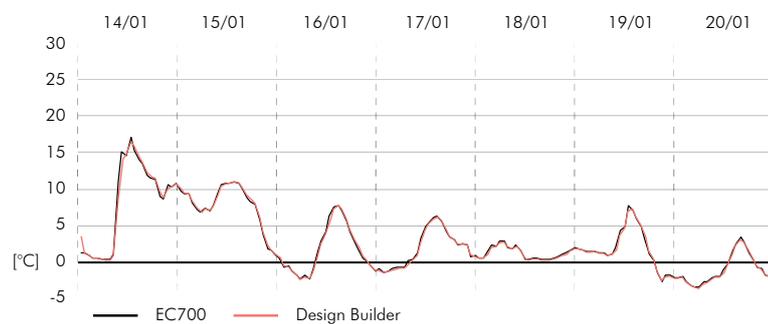
Non per tutti questi argomenti è stato possibile individuare una soluzione e non per tutti si è ritenuto che la loro presenza influenzasse in tal modo la differenza di risultati. Di seguito viene riportato un approfondimento per ognuno di essi. I confronti dei dati avverranno sempre nella stessa settimana tipo del mese di Gennaio, la stessa usata nel paragrafo precedente.

Analizzando l'andamento stagionale si verifica uno scostamento costante fra i risultati offerti dai due software.



Dati climatici

Entrambi i software, quando presentano i risultati dell'analisi, accanto alla temperatura interna dell'aria, a quella operante e a quella media radiante propongono anche la temperatura esterna. Già in forma tabellare è stata notata una differenza di valori sotto questa voce. Inserendo questi dati in un grafico a linee si è notato meglio il discostamento.



Seppur minima e sicuramente non in grado di giustificare la differenza di fabbisogno, è presente una differenza fra le due temperature esterne utilizzate.

Nonostante come spiegato ampiamente precedentemente si è cercato di utilizzare coerentemente i medesimi input. Facendo agire la temperatura esterna, presente dal file basato sui dati climatici degli anni tipo fornito dal CTI, con altre variabili come la velocità del vento, la pressione di vapore esterna e la temperatura di rugiada dell'aria. Design Builder è in grado di restituire la temperatura esterna a bulbo umido e la temperatura esterna a bulbo secco. Quest'ultima sarà quella utilizzata nelle equazioni di bilancio della simulazione energetica. EC700 invece come riportato nel report tabellare dei risultati, userà la temperatura esterna non rielaborata presente nel file climatico. A testimonianza del fatto che DB esercita una elaborazione del file .epw inserito viene sottolineato quando, prima di associare un nuovo template località ad un file climatico,

questo debba essere processato e accompagnato da altri 3 file *, con lo stesso nome ma con formati differenti: .audit, .stat e .ddy. Il software cerca di eliminare la differenza che può esserci fra la stazione di rilevamento dati e la città a cui si riferisce, andando quindi a rielaborare la temperatura esterna di bulbo secco. Design Builder rielabora anche l'irraggiamento sul piano normale, andando a dividere la radiazione diretta su piano orizzontale per il coseno dell'angolo di Zenit.

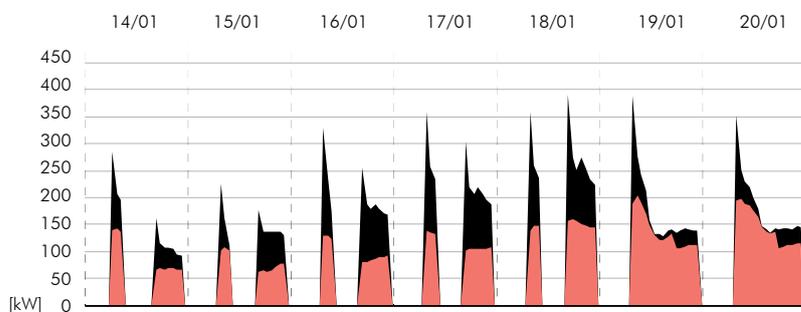
* DesignBuilder Italia,
<http://www.designbuilderitalia.it/nuovi-file-climatici-orari-italiani-cti/>

Seppur non determinante nei risultati della simulazione del caso studio, è sembrato opportuno analizzare questo fattore che rende ancora più precisa l'analisi condotta da Design Builder.

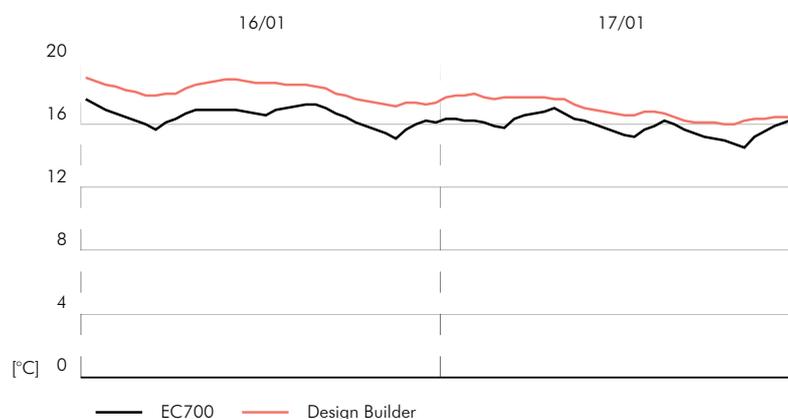
Capacità termica

Confrontando i fabbisogni energetici d'energia per il riscaldamento risultanti dai due software, è stata notata, oltre ad una differenza d'ampiezza, anche un'anomalia nell'andamento di questi.

Si noti come l'andamento registrato con EC 700 presenti dei picchi di richiesta di energia nel momento di accensione dell'impianto.



Questo è un comportamento tipico di quando si va ad agire sul riscaldamento di un edificio leggero, caratterizzato da una bassa inerzia termica. In cerca di conferma, è stato quindi confrontato l'andamento delle temperature medie radianti delle due simulazioni.



La curva di colore rosso rappresenta l'andamento della temperatura media radiante delle superfici in Design Builder mentre il nero quella di EC700. Si noti come in quest'ultima il calo di temperatura avvenga in maniera più rapida rispetto al corrispettivo di paragone. La curva prodotta da DB infatti, grazie ad una corretta lettura della capacità termica delle superfici garantisce un andamento più dolce della temperatura, come per altro è facile ipotizzare conoscendo i materiali che compongono le strutture disperdenti, dettagliati nel **paragrafo 4.1**.

Fig- 4.60

Maschera dei risultati generati da una stratigrafia in EC700

| Caratteristiche termiche dinamiche | |
|---|---------------------------------|
| Trasmittanza periodica | 0,841 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,381 |
| Sfasamento dell'onda termica | -6,734 h |
| Capacità termica areica interna | 74,602 kJ/m ² K |
| Resistenze termiche superficiali (<input type="checkbox"/> rendi modificabili) | |
| | Interna (Rsi) Esterna (Rse) |
| Potenza | 0,130 0,130 m ² K/W |
| Energia | 0,130 0,130 m ² K/W |
| Dati per calcolo orario | |
| Classe dell'elemento | D - Massa equamente distribuita |
| Capacità termica | Km 369,057 kJ/m ² K |

Approfondendo questo aspetto si è visto che, nonostante Ec700 legga correttamente la capacità termica di una parete, non è possibile dire lo stesso per la capacità termica areica interna. Fig. 4. 60

La differenza con la Capacità termica areica rilevata con Design builder è evidente. Fig 4.61

| Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946) | |
|---|----------|
| Spessore muro (m) | 0,2500 |
| Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K) | 146,7510 |

Fig. 4.61

Questa differenza è dovuta al fatto che come indicato in Fig. 4.61 DB calcola la capacità termica areica basandosi sulla norma EN ISO 6946, mentre EC700 basandosi sulla UNI EN ISO 52016 utilizza un dato pre-calcolato, identificando la posizione della massa termica nella stratigrafia. (Capitolo 2.4, Fig. 2. 8)

Frazioni convettive

Come spiegato nel **Paragrafo 1.3**, seppur entrambe le simulazioni possano considerarsi effettuate in un regime dinamico, esse sono basate su sistemi differenti di calcolo. Riprendendo il grafico della Fig.2.6, sono diversi gli scambi termici che agiscono nei diversi bilanci che dalla superficie di involucro esterno portano alla definizione della temperatura dell'aria in ambiente.

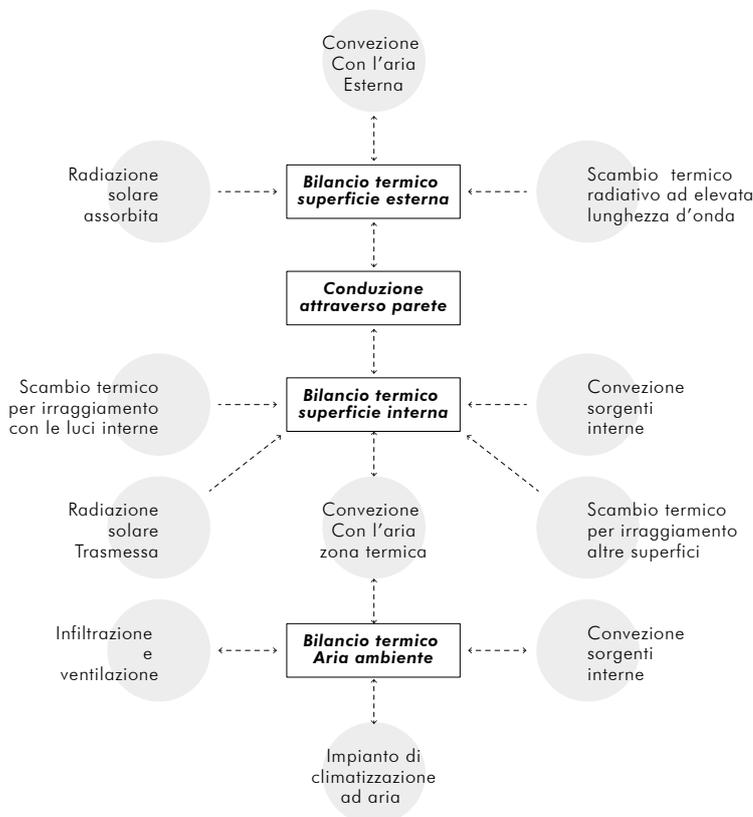


Fig. 2.6

Nella norma UNI EN ISO 52016 viene indicato, quando viene trattata la formula delle equazioni di bilancio, che in queste venga tenuto in considerazione quanto del calore generato dagli apporti interni venga trasmesso per convezione e quanto per irraggiamento. Sempre nella UNI EN ISO 52016 viene proposto nell'appendice B tabella 11 dei valori standard da poter utilizzare:

Tabella estratta dall'appendice B della
UNI EN ISO 52016

Table B.11 — Convective fractions (see 6.5.6.2)

| $f_{int;c}^a$ | $f_{sol;c}$ | $f_{H;c}$ | $f_{C;c}$ |
|---|-------------|-----------|-----------|
| 0,40 for all source types | 0,10 | 0,40 | 0,40 |
| ^a Can be differentiated per source type. | | | |

f_{int} : frazione convettiva apporti interni;

f_{sol} : frazione convettiva apporti solari;

f_{H} : frazione convettiva Riscaldamento;

f_C : frazione convettiva Raffrescamento.

Basandosi su questa norma, nelle opzioni di calcolo di EC700 è possibile indicare tutti questi coefficienti. Al contrario, Design Builder ragionando in maniera differente non applica sempre questi fattori.

Si è proceduto quindi ad un tentativo di normalizzazione, dove possibile, delle impostazioni di calcolo.

Per quanto riguarda la *frazione convettiva dell'impianto di riscaldamento*, dato che quando in DB si imposta un impianto fittizio, come nel caso studio, tutta l'energia immessa nell'ambiente viene considerata trasmessa per convezione, si è intervenuti sulle impostazioni di EC700, andando a forzare il valore suggerito dalla norma 0,40 e ponendo quindi **1**.

Per gli apporti interni è stato possibile attenersi alla normativa, andando a modificare il rapporto in Design Builder. Nella scheda Attività infatti quando si va a descrivere la potenza di picco massimo degli apporti interni e il loro programma sotto la voce

Apparecchiature, è possibile esprimere la frazione radiante di questa energia immessa. Basterà quindi inserire il valore complementare, ovvero 0,6.



| Dispositivi d'Ufficio | |
|---|-------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> On | |
| Power density (W/mq) | 10.40 |
|  Programma | Occupazioni |
| Frazione radiante | 0.600 |

Va però segnalato che se gli apporti interni fossero stati divisi fra apporti dovuti alle apparecchiature e apporti dovuti alle persone, per quest'ultimi non sarebbe stato possibile fare questa specifica, perché non contemplato dal programma.

Per quello che concerne la frazione convettiva degli apporti solari non è stato, purtroppo, possibile unificare il metodo di calcolo. Energy Plus infatti possiede un metodo differente per valutare questo flusso di energia sul quale non è possibile agire. Inoltre, provando a variare anche leggermente il valore di questo parametro alle impostazioni di calcolo di EC700 si è visto come questo produca risultati sensibilmente differenti fra di loro. Da questo ne consegue che questo sia un fattore importante di differenze fra i due fabbisogni ottenuti

Temperatura di SetPoint

Anche questo punto, come il precedente, trova le sue motivazioni nell'utilizzo da parte di EC700 della UNI EN ISO 52016. La norma infatti definisce che la temperatura da raggiungere attraverso la climatizzazione degli spazi sia la temperatura operante. Questa

temperatura rappresenta una media fra la temperatura media delle superfici d'involucro di un ambiente e la temperatura dell'aria interna. Per Design Builder invece quando si andrà a fissare la temperatura di SetPoint si andrà a designare la temperatura dell'aria da raggiungere, generalmente maggiore della temperatura operante.

I due programmi effettueranno quindi le loro simulazioni ponendosi due obiettivi diversi, uno ragionerà immettendo in ambiente un quantitativo di energia tale per raggiungere 20° C della temperatura operante, che è derivante da una più alta temperatura dell'aria, l'altro invece raggiungerà l'equilibrio con una temperatura dell'aria fissa a 20 °C ed una conseguente temperatura operante inferiore. Dai Grafici infatti si vede l'importanza della differenza di temperatura. Quando in Design Builder ad impianto acceso si raggiunge la temperatura dell'aria a 20°C, in EC700 può capitare di rilevarne quasi 25 °C.

Si è ritenuto appropriato individuare questo come la principale causa di differenza di risultati.

Continuando l'analisi mantenendo un'attitudine sperimentale, si è provato ad agire sulla causa della sovrastima. In EC700 quindi è stato creato un nuovo profilo di utilizzo delle zone, che mantenesse i medesimi profili di funzionamento orari, ma si è proceduto ad andare ad abbassare la temperatura di SetPoint di un grado alla volta. E' stato rilevato che ponendo 18 °C come impostazione della temperatura operante nel software di EdilClima si raggiunge un paragonabile fabbisogno utile netto e un analogo andamento delle temperature. *Persiste comunque una certa differenza di risultati, la cui causa va ricercata nelle differenze sopra elencate.*

| | <i>Software</i> | <i>Fabbisogno ideale utile</i> | <i>Differenza %</i> |
|------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|
| 20°C | Design Builder | 2 6 8 1 9 0 kWh/anno | 6% |
| 18°C | EC700 | 2 8 4 3 7 0 kWh/anno | |



Grafico 9

Andamento delle temperatura dell'aria. In nero EC700 in giallo DesignBuilder;

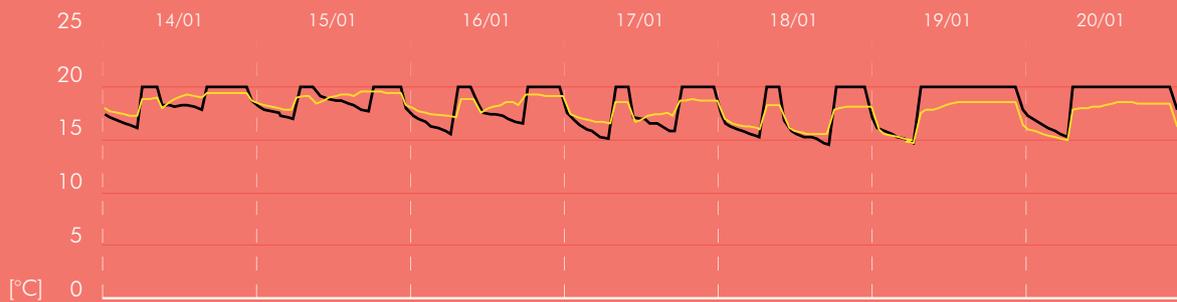


Grafico 10

Andamento delle temperatura operante. In nero EC700 in giallo DesignBuilder;



Grafico 11

Ponendo il Ec700 (nero) 18° come SetPoint, l'andamento della temperatura dell'aria si avvicina, pur mantenendo differenze, a quello calcolato con Design Builder (giallo) rimasto fisso a 20°

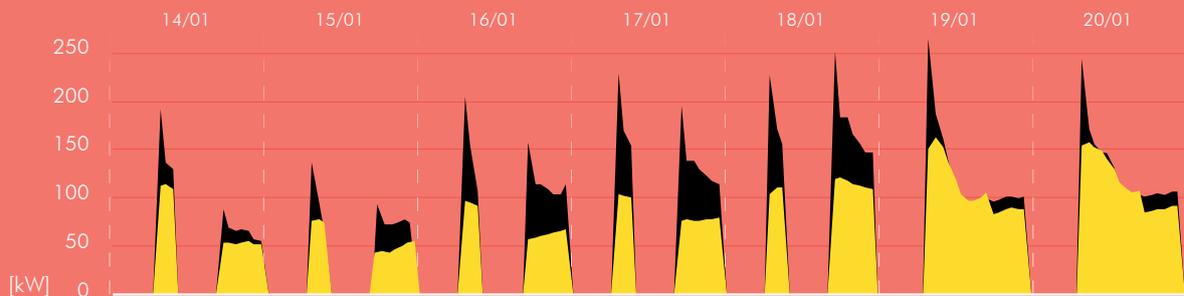


Grafico 12

In Fabbisogno netto calcolato con 18° (in nero) come Set Poin risulta ridotto rispetto al precedente, ma matiene comunque picchi molto più elevati di quello calcolato con Design Builder, a casua del persistere del problema di lettura della capacità termica

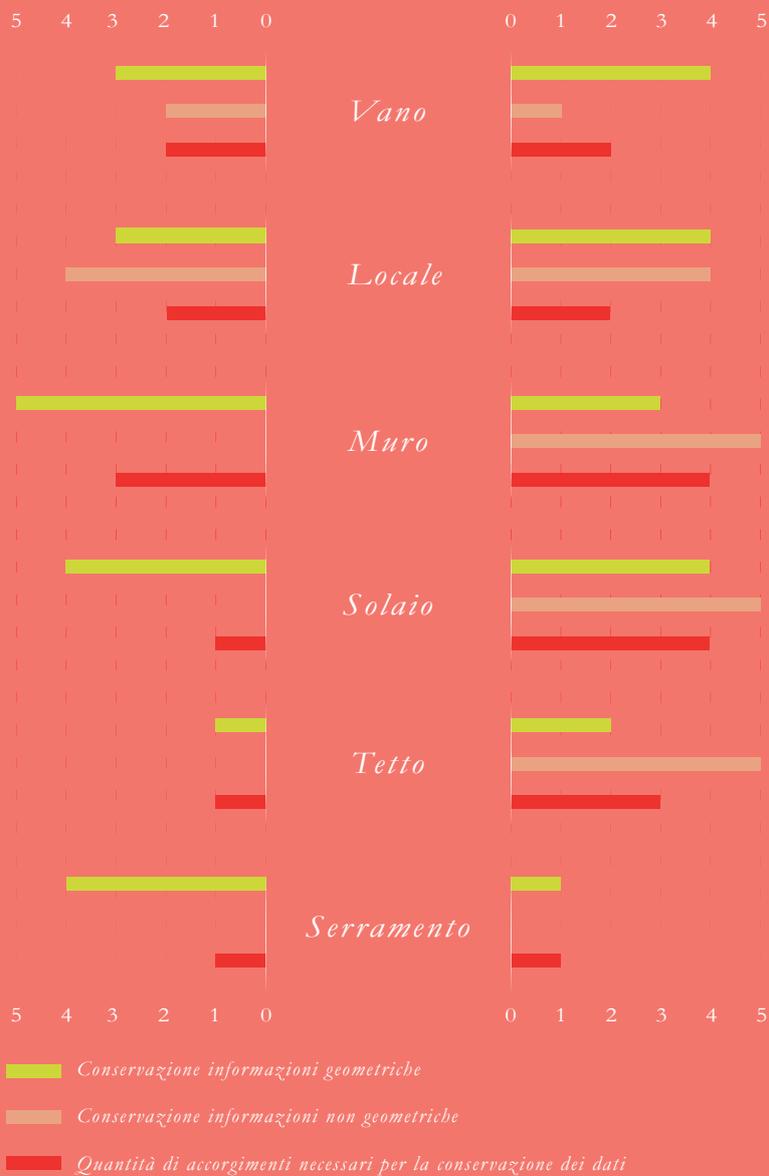
Valutazioni

4.8

A conclusione di questo lavoro, è stato riassunta l'attività di modellazione e inserimento dati lungo tutto il processo che dalla modellazione Bim porta al compimento di una simulazione energetica dinamica. Si è cercato di analizzare i diversi aspetti e componenti di questo iter attraverso uno sguardo all'interoperabilità fra i software e alla loro fruibilità.

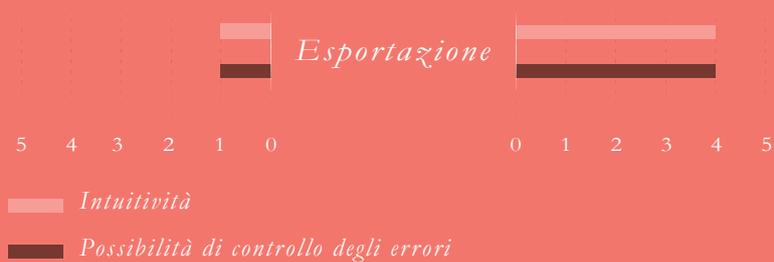
Si è cercato di differenziare la parte del processo contenuta all'interno di Revit con quella relativa ai software BEM, Design Builder e EC700, interponendo una breve valutazione dei due metodi di esportazione. I risultati sono stati organizzati nello **schema 1 e 2** rappresentati a *pagina 173* e nello **schema 3** a *pagina 175*. Nella *Pagina 177* viene proposto un schema che rappresenta un ulteriore confronto fra i software di simulazione energetica volto ad indicare basandosi una maggiore facilità di inserimento dati ed una maggiore accuratezza, quale dei due è più indicato.

In base quindi alla fase in cui sono stati inseriti i dati si propongono diversi obiettivi di valutazione distinti con diversi colori. Per ognuno di essi è stata individuato un valore lungo una scala qualitativa che dallo **0** porta al **5**. Il valore più basso rappresenta l'assenza di quella caratteristica mentre, al contrario, il valore massimo rappresenta un'alta presenza della stessa.



Schema 1 Tipologie di componenti che sono state descritte in Revit, divise in base al software di simulazione energetica di approdo del modello;

Schema 2 Valutazione della fase di esportazione dei due formati, IFC a sinistra e gbXML a destra;



Di seguito per ogni categoria di valutazione viene fornita una breve descrizione.

Conservazione informazioni geometriche: Viene valutato se e quanto le caratteristiche geometriche dell'elemento siano trasmesse dal software sorgente al software target;

Conservazione informazioni non-geometriche: Viene valutato se e quanto le caratteristiche che non riguardano l'aspetto geometrico e dimensionale dell'elemento vengano trasmesse dal software sorgente al software target. Fra queste ci sono le caratteristiche termiche;

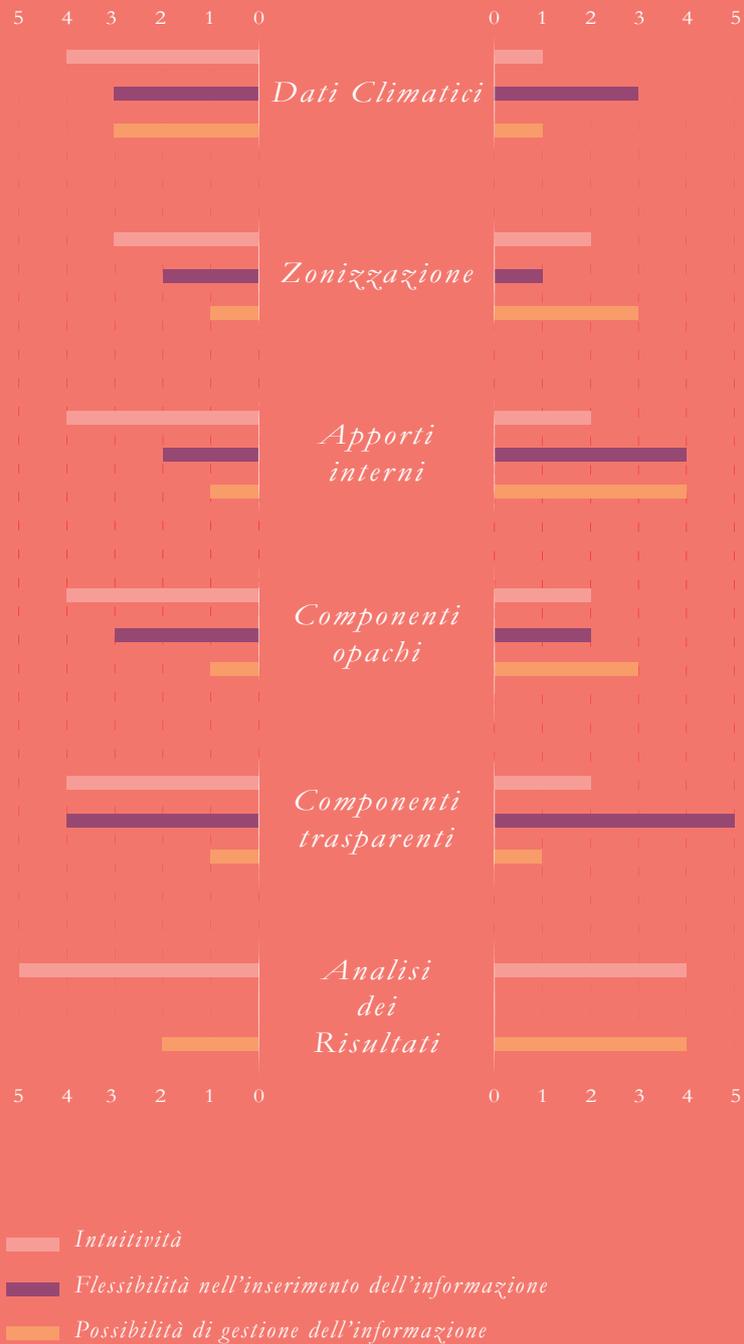
Quantità di accorgimenti necessari per la conservazione dei dati: Il numero e la complessità degli accorgimenti utilizzati nel loop di ottimizzazione dei file che da Revit passeranno ai rispettivi software di analisi. Più il valore è alto è più sarà necessario prestare attenzione per ottenere i valori di interoperabilità del dato descritti sopra;

Intuitività: Questo parametro è presente sia nella fase di esportazione, quindi nella preparazione del modello EAM che in quella di lavorazione del modello BEM. Indica la facilità di utilizzo della funzione o di maneggio del dato senza dover ricorrere ai manuali dei software.

Possibilità di controllo degli errori: Indica la possibilità offerta dal processo di avere un feedback, immediato o meno, della bontà di esecuzione del modello.

Flessibilità nell'inserimento dell'informazione: Viene specificata la possibilità di declinare la categoria di dato in diversi modi e la capacità di inserire questo in diverse forme, senza andare incontro ad errori

Possibilità di gestione dell'informazione: Valutazione della velocità e semplicità di gestione dei dati.

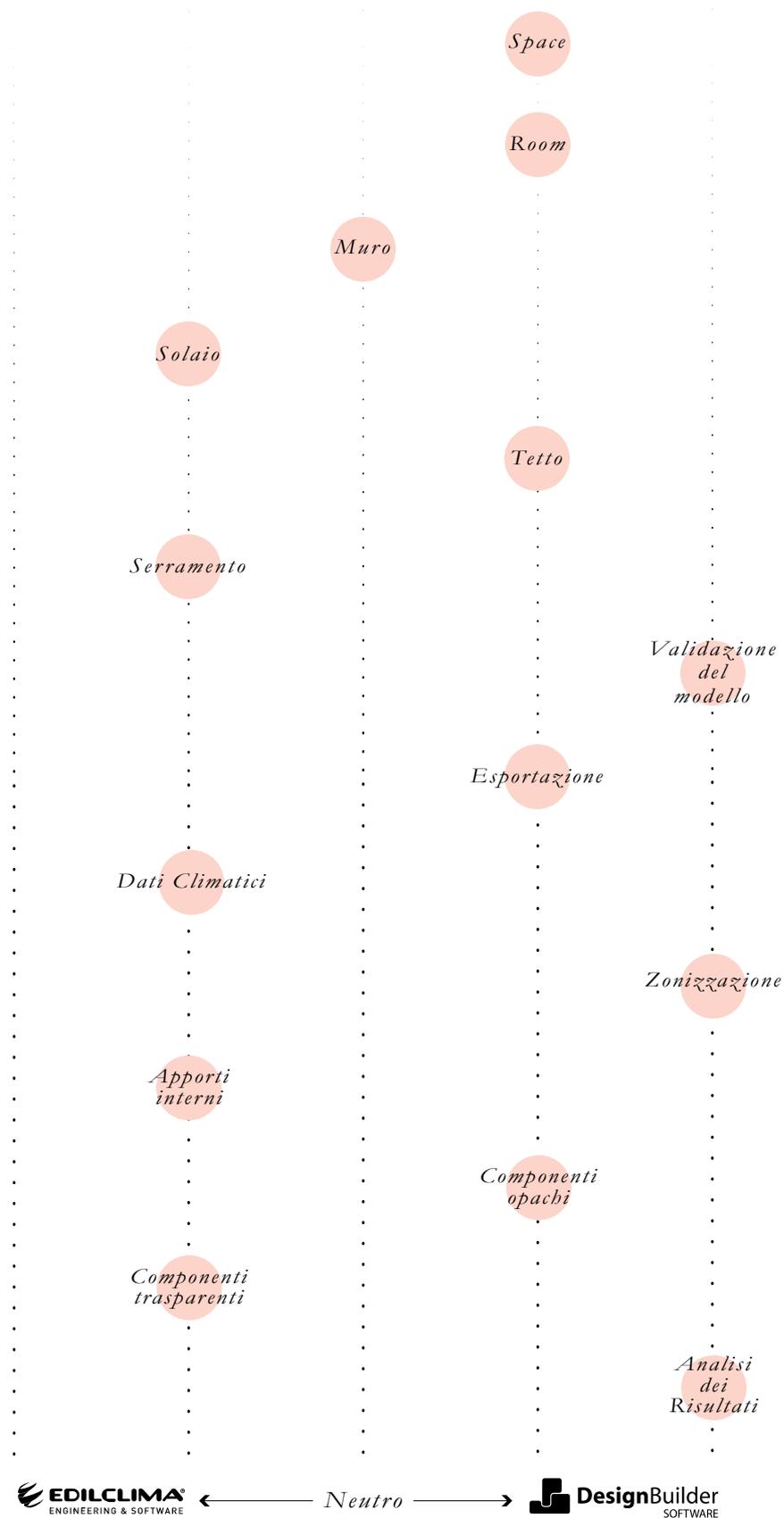


Schema 3 Valutazione della fase di gestione e descrizione del Building Energy Model;

Conclusioni

Attraverso la metodologia dettagliata durante tutto il lavoro di Tesi è stato possibile raggiungere gli obiettivi prefissati, riuscendo a portare a termine una, seppur limitata, analisi dinamica del comportamento invernale di un edificio. E' stato utile analizzare come il modello in questo caso sviluppato con il software Autodesk Revit rappresenti un valido strumento per l'attuazione della metodologia BIM, oltre che un valido punto di partenza per lo sviluppo di una simulazione energetica. Grazie infatti alla quantità di informazioni contenute e alla modellazione parametrica del software sarà possibile agevolare ed ottimizzare la restituzione digitale di un edificio. Ancor più interessante però è stato vedere come questo strumento si relazioni con altri due software che rappresentano una realtà ormai notoriamente affermata nel loro campo. Soffermendosi e approfondendo le differenze, quando riscontrate, dei due metodi di calcolo è stato possibile anche comprendere i nodi centrali contenuti nel nuovo calcolo dinamico orario contenuto nella norma UNI EN ISO 52016 che, verosimilmente, andrà ad affiancare il metodo semi stazionario nelle norme tecniche a supporto della futura certificazione degli edifici in Italia e in Europa.

Verificando in prima persona la quantità di accorgimenti da usare per portare a termine il processo di generazione e condivisione di due file di natura differente, **IFC** e **gbXML**, si è cercato di produrre un elaborato che potesse anche avere un ruolo di supporto a chi fosse interessato ad effettuare questo tipo di analisi. Dopo aver dettagliato il caso studio e gli input utilizzati nelle analisi infatti la tesi intraprendere due percorsi paralleli. Grazie all'utilizzo di schermate catturate direttamente dai software *Revit*, *Design Builder* ed *Ec700* è stato possibile portare avanti la descrizione di due procedimenti.



Schema 4 Orientamento della preferenza, valutata in base alla facilità di gestione e all'interoperabilità dei dati rispetto ai due software utilizzati per la simulazione energetica, Ec700 a sinistra e Design Builder a destra.

Un ulteriore supporto allo svolgimento di questa analisi è stato realizzato accompagnando con dei *QRcode* le parti di descrizione operativa, andando a rafforzare l'idea di una **guida** a supporto dello studio. Come riassunto del confronto, fatto dal punto di vista di un utente, è stato prodotto lo **schema 4** dove è possibile leggere che la tendenza delle preferenze di gestione degli elementi e delle funzioni necessaria al corretto svolgimento del processo tende verso il software Design Builder. *Attualmente questo software infatti offre un'esperienza più fluida nella gestione delle informazioni.* Questo offre anche maggiori possibilità di analisi e studio dell'edificio, proponendo molte altre opzioni di approfondimento del comportamento energetico dell'edificio che non sono state esplorate in questo lavoro di tesi, ma che offrono sicuramente la possibilità di indagini future. Tuttavia, la grande accuratezza dello strumento richiede una più che solida preparazione nel campo tecnico. EC700 essendo un software commerciale ampiamente usato in Italia per la produzione di attestati energetici sfrutta questa sua natura proponendo un'interfaccia più semplice nel complesso, supportata da un'ottima assistenza.

Va segnalato infatti che è capitato durante il lavoro di confrontarsi per dubbi e problemi con *l'Assistenza di EdilClima*, riscontrando sempre un celere e efficace supporto. Dal punto di vista dell'**interoperabilità** è stato riscontrato come Revit abbia dei problemi di esportazione dei file IFC se questi sono indirizzati ad un'analisi energetica. Precisando che anche il processo utilizzato per analizzare il formato gbXML non è risultato esente da particolari e a volte fastidiosi accorgimenti da utilizzare, questo si è rivelato essere il formato dove la perdita di dati e la conseguente duplicazione è risultata inferiore. Le cause di questa situazione devono essere ricercate nella natura dei due formati. IFC infatti si propone di essere lo standard ufficiale di trasmissione dei dati BIM. Come ampiamente descritto nei primi capitoli le materie orbitanti intorno ad un modello BIM sono molteplici e toccano tutti i campi dell'architettura. GbXML invece è un formato che nasce appositamente ed esclusivamente per la trasmissione di informazioni di carattere energetico.

Da qui è possibile dedurre che la momentanea inefficienza del formato IFC in questo campo sia dovuta al carattere onnicomprensivo del formato, che ne causa un ritardo dello sviluppo. L'ente *BuildingSMART* continua però ad aggiornare gli schemi attraverso i quali è possibile ottenere i file di condivisione dei modelli BIM ed è quindi lecito aspettarsi miglioramenti, attualmente fortemente necessari. In ogni caso, l'impossibilità di trasmettere i dati termici ed energetici da un modello BIM ad uno BEM attraverso il formato di scambio standard non risulta accettabile. Inoltre va segnalato che se è stato raggiunto un discreto livello di interoperabilità, almeno per quello che riguarda il file gbXML, questa sarà unicamente **unidirezionale**. Per essere definito completo infatti, il processo di interoperabilità dev'essere reversibile, ovvero l'informazione deve passare da un software A ad un software B e riuscire a tornare indietro all'A.

Ad ogni modo, i risultati energetici ottenuti sono stati raggiunti spesso grazie ad un estremo lavoro di ottimizzazione del modello, che si è anche tradotto in eccessive semplificazioni e piccoli cambiamenti nell'essenza dell'edificio. Attualmente infatti se questa analisi fosse partita da un modello BIM generato per altre esigenze, come ad esempio il Facility Management, i cambiamenti e gli accorgimenti frutto del loop di ottimizzazione avrebbero portato ad una sconfessione dei principi che animano la metodologia BIM.

Ne consegue la conclusione che il procedimento analizzato non risulta perfettamente integrato.

Bibliografia

Articoli:

- B.Dong, K.P.Lam, Y.C.Huang, Dobbs,G M, *A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments*, 2007
- Marinosci C., Semprini G., *Software di simulazione energetica dinamica degli edifici* (https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=Software%20di%20simulazione%20energetica_Marinosci-Semprini_SITO.pdf)
- Corrado, Vincenzo, Ilaria Ballarini, and Stefano Paolo Corgnati. *Building Typology Brochure - Italy Fascicolo Sulla Tipologia Edilizia Italiana*. Nuova ed. S.l.: [s.n.], 2014
- E. Garda, M. Mangosio, *Prefabbricazione e edilizia socialea Torino tra 1960 e 1980* http://www.cte-it.org/documentazione_cte/Congressi/21%20Roma%202016/ATTI%20ICD2016/ITA%20NO%20SCOPUS/126%20-%20GARPRES.pdf
- *Art. 8 delle Norme tecniche di esecuzione delle costruzioni con speciale riferimento alla progettazione*, Legge 60/1963
- A. Salzano, L. Napolano, D. Asprone, A. Prota, *il bim a supporto della progettazione sostenibile mediante l'integrazione di analisi lca* (http://www.stress-scarl.com/joomla33new/images/Articolo_Ingenio.pdf)
- Kamel, E., & Memari, A. M. (2019). *Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions*. *Automation in Construction*, 97, 164-180. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>
- Autodesk, "Lo standard IFC : quando e come utilizzarlo." (<http://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/>)

livre-blanc-ifc-it.pdf)

- *Mirafiori Sud in numeri*. Raccolta e elaborazione dati per MiraForum il Forum Territoriale di Mirafiori Sud, 2018 https://www.planetidea.it/allegati/Mirafiori%20in%20Numeri_per%20MiraFroum%202018.pdf
- Design Builder Italia, *Nuovi file climatici orari CTI*, <http://www.designbuilderitalia.it/nuovi-file-climatici-orari-italiani-cti/>

Monografie:

- H. Marcuse, *L'uomo a una dimensione. L'ideologia della società industriale avanzata*, Torino, Einaudi, 1967
- H. Meadows, Dennis L. Meadows; Jørgen Randers; William W. Behrens III, *The Limits to Growth*, 1972
- Clarke, J.A. *Energy Simulation in Building design* (2nd edition). Butterworth Heinemann. 2001
- Gibello, Luca, Paolo Mauro Sudano, and Francesco Dolza. *Francesco Dolza L'architetto E L'impresa*. Torino: Celid, 2002.
- F.Guiati, E. A. Savio, *Mirafiori sud, Vita e storie oltre la fabbrica*, 2004
- Di Biagi, P. *La città pubblica: edilizia sociale e riqualificazione urbana a Torino*. Torino: Allemandi. 2008
- Secchi, B., *La città del ventesimo secolo*, Roma Bari: Laterza. 2008
- Osello, Anna. *Il futuro del disegno con il BIM per Ingegneri e Architetti*. Palermo: Flaccovio, 2012.
- Filippi M., Fabrizio E., *Introduzione alla simulazione termoenergetica dinamica degli edifici*, Guida Aircarr editore, 2012
- Caramellino, Gaia, Filippo De Pieri, Michela Pace, and Cristina Renzoni. *Esplorazioni Nella Città Dei Ceti Medi Torino 1945-1980*. Siracusa: LetteraVentidue, 2015
- A. Pavan, C. Mirarchi, M. Giani, *BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*. 2017

Legislazione e Normativa tecnica:

- UNI/TS 11300-1:2014 *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*
- UNI 11337-4:2017, *Edilizia e opere di ingegneria civile. Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni. Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti.*
- UNI EN ISO 52016-1:2018, *Prestazione energetica degli edifici. Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti. Parte 1: Procedure di calcolo*
- UNI EN ISO 52017-1:2018 *Prestazione energetica degli edifici - Carichi termici sensibili e latenti e temperature interne - Parte 1: Procedure generali di calcolo*
- Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo del Consiglio del 19 maggio 2010 *sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD recast)*
- Decreto Ministeriale 26 Giugno 2015 *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.*

Sitografia:

- <https://knowledge.autodesk.com>
- <https://designbuilder.co.uk>
- <https://ingenio-web.it>
- <http://mygreenbuildings.org>
- <https://edilclima.it>
- <https://ec.europa.eu>

Tesi:

- Andrea Finazzi, Andrea Freti, Stefano Pellegrini, *La progettazione BIM nelle opere di riqualificazione energetica*. Maria Sole Brioschi, Dario Fusco. 2015
- Federico Sgotto. *Il disegno energetico di un edificio. Evoluzione del processo di progettazione attraverso i modelli informativi*. De Angelis Enrico. 2015
- Gamalero, Monica. *Il BIM a Supporto Dell'approfondimento Energetico Di Edifici Energivori Caso Studio Reiss Romoli 45* (2016)
- Sandri, Elisa, *Il BIM per Il Controllo Termico Dell'edificio: Metodologia Applicata a Una Serra Bioclimatica Nel Complesso Sanitario Del Trompone*. Osello, Anna, and Del Giudice, Matteo. (2018)
- Rotti, Rodolfo, *BIM E Analisi Energetica: Interoperabilità Tra Software Il Caso Studio Di FCA Mirafiori*. Osello, Anna, and Masoero, Marco Carlo. (2018)
- Regano, Giuseppe, *Interoperabilità BIM to BEM per L'efficientamento Energetico Degli Edifici Pubblici*. Osello, Anna, and Ugliotti, Francesca Maria. (2018)
- Carrozza, Elisa, *Riqualificazione Energetica Di Un Albergo in Alta Quota*. Corrado, Vincenzo, Ballarini, Ilaria, and Dirutigliano, Domenico. (2018)
- Farina, Marco, *Metodologie Innovative Nell'era Digitale: Il BIM per La "cost Optimal Analysis"*. Osello, Anna, Del Giudice, Matteo, and Rebaudengo, Manuela. (2018).
- Ghisalberti, Margherita, *Gli Elementi Responsivi D'involucro Tra Ricerca E Applicazione: Comparazione Fra Involucro Tradizionale E Responsivo Attraverso La Modellazione Energetica Dinamica*. Corrado, Vincenzo, and Ballarini, Ilaria. (2019)
- Quercia, Carlotta, *UMWELT, La Progettazione Tra Consapevolezza E Normativa = UMWELT, the Consciousness and Regulation Design*. Salomone, Mauro, Corrado, Vincenzo, and Ballarini, Ilaria. (2019)
- Rubattu Carla, *BIM TO BEM - Modellazione BIM E Interoperabilità per L'efficientamento Energetico Degli Edifici Pubblici*. Osello, Anna.(2019)

Grazie.

Dario
Cammardella



**POLITECNICO
DI TORINO**