

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto Sostenibile**

Tesi di Laurea Magistrale

**Il BIM per il controllo termico dell'edificio:
metodologia applicata a una serra bioclimatica nel
complesso sanitario del Trompone**



Elisa Sandri

Relatore
Prof. Anna Osello

Correlatore
Ing. Matteo Del Giudice

Dicembre 2018

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

Il BIM per il controllo termico dell'edificio: metodologia applicata a una serra bioclimatica nel complesso sanitario del Trompone



Relatore

Prof. Anna Osello

firma del relatore

.....

Correlatore

Ing. Matteo Del Giudice

firma del correlatore

.....

Candidato

Elisa Sandri

firma del candidato

.....

Dicembre 2018

*La via per imparare è lunga
se si procede per regole,
breve ed efficace
se si procede per esempi.*

L. A. Seneca

Indice

ABSTRACT	8
INDICE DEGLI ACRONIMI	10
1.INTRODUZIONE	11
1.1 BIM FOR HEALTHCARE	12
1.2 STATO DELL'ARTE	14
1.2.1 BREVE STORIA DEL BIM	14
1.2.2 COS'È IL BIM	16
1.2.3 LE DISCIPLINE DEL BIM	18
1.3 LOD	19
1.4 INTEROPERABILITÀ	22
1.4.1 INTEROPERABILITÀ TRA UTENTI	22
1.4.2 INTEROPERABILITÀ TRA SOFTWARE	27
1.5 IL CASO STUDIO	29
2.METODOLOGIA	32
2.1 PROGETTAZIONE CONDIVISA	34
2.1.1 IL PROGETTO ARCHITETTONICO E STRUTTURALE	40
2.1.2 STRATIGRAFIE DI PROGETTO	42
2.2 IL CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO	58
2.2.1 IL MODELLO EAM	59
2.2.2 IL CALCOLO DEL FABBISOGNO ALL'INTERNO DEL BIM	62
2.3 SCELTA DELL'IMPIANTO	76
2.3.1 IL MODELLO MEP	79
2.4 CLASH DETECTION	83
2.4.1 HARD CLASH	84
2.4.2 WORKFLOW CLASH	88
2.5 BIM E BEM	90
2.6 SOFTWARE PRESENTI SUL MERCATO	91
2.7 CRITERI DI SCELTA	98
2.8 DESIGN BUILDER	108
2.8.1 PERDITA DEI DATI	110
2.8.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO	117

2.8.3 IMPOSTAZIONI GENERALI	123
3. RISULTATI	125
4. CONCLUSIONI	132
5. SVILUPPI FUTURI	133
BIBLIOGRAFIA	134
SITOGRAFIA	135
NOTE	136

ABSTRACT

Il lavoro di tesi si inserisce all'interno di un progetto denominato "BIM for Health" per il recupero della struttura sanitaria ASL situata nel Santuario del Trompone a Moncrivello (VC) ed in particolare sulla costruzione di una serra bioclimatica, dedicata ai pazienti durante la degenza per lo svago ed altre attività.

L'uso della tecnologia BIM permette di ottimizzare la progettazione con il vantaggio di un migliore controllo ambientale e di una più facile organizzazione del processo costruttivo. Nello specifico, si prevede un intervento di bioedilizia, attuato sfruttando fonti rinnovabili, ottimizzando le tecniche costruttive e l'uso di materiali eco-compatibili; vengono inoltre affrontate le esigenze legate agli impianti necessari alla struttura per **garantire il comfort termogrametrico**.

La progettazione integrata consente di individuare le interferenze tra le varie discipline (**clash detection**) e facilita le **analisi energetiche**, permettendo la stima del comportamento termico dell'edificio. Le simulazioni in regime dinamico del comportamento termico dell'edificio, condotte in modo da garantire il comfort al suo interno, sono state effettuate tramite l'esportazione e importazione del file di progetto .gbXML tra software di calcolo, che nella tesi proposta sono stati Autodesk Revit e Design Builder.

The thesis is part of a bigger project named "BIM for Health" focused on several projects related to the local healthcare structure located in Trompone Sanctuary in Moncrivello (VC) specifically on the construction of a habitable greenhouse where the patients can relax and do other activities.

The use of the BIM allows to optimize the planning with the advantage of a great environmental control and an easier organization of the building process. The project aims to be a green building that relies on renewable resources, the optimization of the constructive techniques and the use of eco-compatible materials; it also aims to control the issues related to the requirements and the machineries needed to guarantee the thermos-hygrometric comfort.

The integrated design allows to identify the interactions between the various disciplines (clash detection) and simplify the processes related to the analysis the energetic performances of the building. Through the exportation and importation of the project file .gbXML using different calculation software, such as Autodesk Revit and Design Builder, the simulations have been carried out in the dynamic regime of the thermal behavior of the building in order to verify and guarantee the internal comfort.

INDICE DEGLI ACRONIMI

- AIA** American Institute of Architecture
- BEM** BIM Energy Model
- BIM** Building Information Modeling
- CAD** Computer Aided Design
- CDE** Common Data Enviroments
- EAM** Energy Analysis Model
- IFC** Industry Foundation Classes
- LOD** Level of Development
- LOI** Level of model information
- MEP** Mechanical, Electrical and Plumbing
- WBS** Work Breakdown Structure
- WIP** Work in progress

1.INTRODUZIONE

Con l'affermarsi in Italia della tecnologia BIM nell'ambito delle costruzioni e dell'edilizia, in particolare grazie all'introduzione del Nuovo Codice Appalti¹ e della Norma UNI 11337², i processi legati alla progettazione si scostano sempre più dalle metodologie tradizionali, rendendo possibile sin dalle prime fasi il monitoraggio di molteplici aspetti dell'edificio. Il progetto parametrico permette infatti di valutare varie soluzioni in tempi minori e considerare le informazioni relative al processo costruttivo (4D), ai costi ad esso legato (5D), alla gestione e manutenzione dell'opera (6D) e alla sostenibilità sociale, economica e ambientale (7D).



Fig. 1
Rappresentazione grafica delle dimensioni del BIM.

Fonte:
<http://biblus.acca.it/focus/le-7-dimensioni-del-bim/>

1.1 BIM for Healthcare

Il Building Information Modeling (BIM) è una delle tecnologie più innovative, protagonista di numerosi dibattiti anche a livello internazionale, che risponde alla necessità di utilizzare tecniche di progettazione e di scambio di dati che consentano la gestione del ciclo di vita di un edificio in modo univoco tra le diverse discipline. Per questa ragione si è sviluppata una corrente specifica di ricerca architettonica riguardo alla progettazione delle strutture sanitarie conosciuta come “BIM for Healthcare”, il cui l’obiettivo è migliorare la cura del paziente e indirizzare nuove sfide economiche.

L’architetto Dan Noble, presidente di HKS e che ha utilizzato il software BIM Autodesk Revit per numerosi progetti in ambito ospedaliero, afferma che “BIM is a perfect fit for healthcare because of the complex nature of these buildings, the repetitiveness of the activity within the building, and the need to really nail process”. Inoltre, “Having a fully integrated BIM model allows us to simulate process and material distribution, patient and staff flow, and M/E/P activities—and how all that interrelates.”³

Come schematizzato nell’immagine proposta, con l’applicazione del BIM si ha una maggiore correlazione tra gli aspetti tecnico-scientifici, di competenza medic-ingegneristica e la cui principale finalità è la guarigione del paziente, e quelli estetici, a cui generalmente l’architetto è più sensibile. In questo modo è possibile il raggiungimento di una

soluzione progettuale che permetta al paziente di beneficiare di ambienti più familiari, ottenendo anche miglioramenti sulla salute.

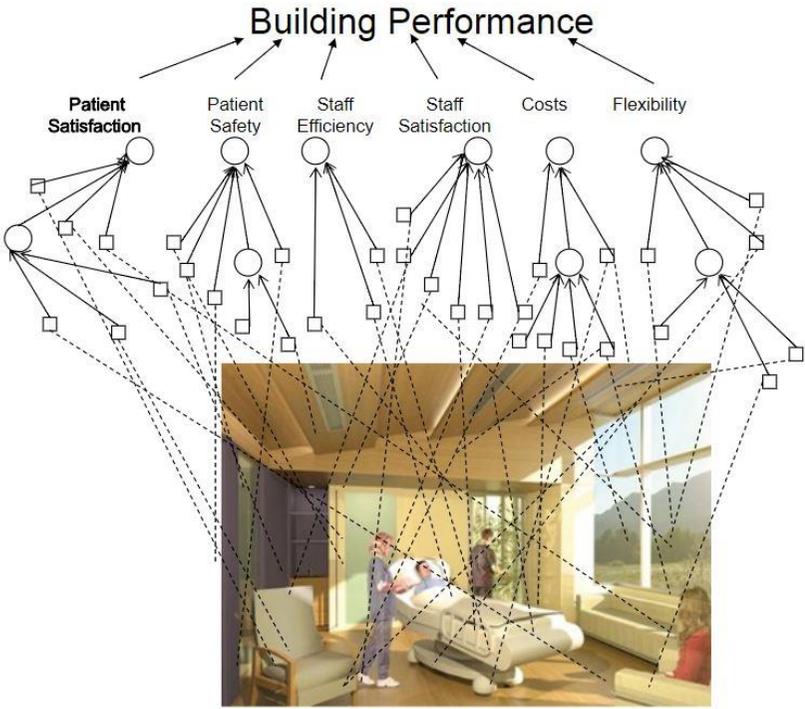


Fig. 2 Fonte dell'immagine: <http://slideplayer.com/slide/10381893/>

1.2 Stato dell'arte

1.2.1 Breve storia del BIM

Nell'ambito delle costruzioni una prima descrizione di modello virtuale dell'edificio viene proposta nel 1974 da Charles M. Eastman, oggi riconosciuto tra le massime autorità mondiali in materia, in una pubblicazione relativa ad una ricerca sviluppata alla Carnegie-Mellon University di Pittsburgh (USA), dal titolo "An outline of the building description system". Già all'interno dello scritto pubblicato nel 1974, cui generalmente si fa convenzionalmente risalire la ricerca sul BIM, veniva illustrato un "sistema descrittivo dell'edificio", ottenuto mediante l'aggregazione di elementi grafici 3D in grado di contenere informazioni di tipo geometrico, ma anche relative ai materiali, ecc...

Nell'abstract del '74 si legge che molti dei costi di progettazione, costruzione e funzionamento edilizio derivano dal ricorso a disegni come modalità per riportare le annotazioni dell'edificio. In alternativa, il documento delinea la progettazione di un sistema informatico utile per memorizzare e manipolare le informazioni di progetto in un dettaglio che consente la progettazione, la costruzione e le analisi operative. Un edificio è considerato come la composizione spaziale di un insieme di parti. Il sistema, denominato allora come "Sistema Descrittivo dell'Edificio" è caratterizzato dall'essere:

- un mezzo per un facile inserimento grafico di forme di elementi arbitrariamente complessi;
- un linguaggio grafico interattivo per modificare e configurare la disposizione degli elementi;
- capacità grafiche in formato cartaceo che possono produrre prospettiva o disegni ortografici di alta qualità;
- una funzione per l'ordinamento e la schematizzazione, che consenta l'ordinamento della base-dati per attributi, per esempio, per il tipo di materiale, fornitore o componendo un insieme di dati per l'analisi.

È solo dal 2002, con le pubblicazioni di Jerry Laiserin, che negli USA inizia a divulgarsi il termine BIM. Prima di allora, e precisamente nel 1986, l'azienda ungherese Graphisoft introdusse il software Radar/Ch, oggi conosciuto come Archicad. Esso ha costituito il primo Virtual Building Solution, permettendo la creazione di una rappresentazione virtuale tridimensionale del progetto e di lavorare con oggetti a cui sono applicati dati parametrici. È a partire dalla metà degli anni 80 che in questo scenario nascono e si sviluppano alcune note aziende produttrici di software come Autodesk (statunitense), Bentley (statunitense), Nemetschek (tedesca) ed altre, le quali realizzano propri prodotti, ciascuno con specifiche caratteristiche, ma tutti sostanzialmente orientati alla rappresentazione grafica del progetto.

1.2.2 Cos'è il BIM

La modellazione parametrica è la chiave principale che differenzia un building information model dal tradizionale disegno 2D e 3D. Un oggetto parametrico consiste in una serie di definizioni geometriche alle quali sono associati dati, vincoli e regole traducendosi in blocchi che possono cambiare forma e misura. Tali oggetti vengono pertanto definiti "intelligenti" per la loro capacità di auto-aggiornarsi, anche in risposta a modifiche apportate dal progettista ad oggetti diversi ma tra loro collegati: ne consegue un'automatica propagazione delle modifiche eseguite e un aggiornamento continuo e istantaneo dell'intero modello virtuale.

La definizione di BIM, come si può riscontrare consultando sia opere pubblicate che la rete internet, non è standard e lo dimostra l'elevato numero di definizioni rintracciabili. Alla lettera "M" di BIM, ad esempio, sono stati associati negli anni significati differenti, tese a sottolineare aspetti che di volta in volta sembravano maggiormente caratterizzanti (Model, Modeling, Management).

In generale, il BIM costituisce un approccio alla progettazione in cui la rappresentazione dell'edificio si lega all'informazione qualitativa e quantitativa degli elementi presenti. I componenti di un edificio (intesi come struttura, murature interne ed esterne, aperture, elementi verticali e impianti) sono resi in forma tridimensionale e possono essere mappati e quantificati attraverso una specifica reportistica che fornisce la documentazione di progetto.

Rappresenta inoltre un processo che fondamentalemente cambia il ruolo del calcolo nella progettazione architettonica, come dimostra lo studio condotto da Patrick MacLeamy nel 2004 e esemplificato nell'omonima curva.

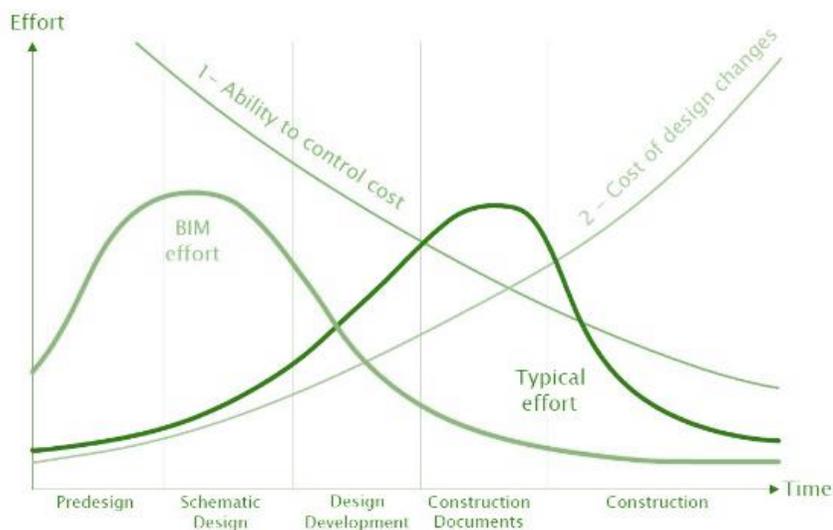


Fig. 3 Curva MacLeamy.

Tale curva mette in relazione alle fasi del progetto la quantità di lavoro in termini di costi e tempo. Si nota come nella pratica tradizionale la quantità di lavoro aumenta in modo graduale raggiungendo il valore massimo durante la produzione della documentazione, fase in cui aumentano gli studi progettuali coinvolti. Con l'applicazione della tecnologia BIM invece, le scelte strategiche si concentrano nelle fasi iniziali di pianificazione, grazie all'interazione tra le varie discipline, per cui ne consegue un vantaggio economico. Le curve 1 e 2 mostrano rispettivamente la capacità delle decisioni progettuali di influire sui costi e il costo delle variazioni progettuali in funzione del tempo. Il BIM consente pertanto lo sviluppo di

nuove metodologie di progettazione, a cui si affianca un'evoluzione della programmazione informatica e della normativa regolamentare, iniziati in America e poi progrediti e diffusi nei principali stati europei e del mondo.

Motivo per cui le grandi offerte di softwares sul mercato, nonostante si basino sulla stessa logica, hanno diverso grado di diffusione e utilizzo, in base al paese di utilizzo e ai requisiti di interoperabilità richiesti negli specifici progetti.

1.2.3 Le discipline del bim

Il modello MEP

Data la grande quantità di informazioni disponibile al suo interno, il progetto parametrico viene suddiviso in vari modelli secondo le tre principali discipline (architettonico, strutturale e impiantistico).

Gli impianti tecnologici costituiscono una parte importante di ogni costruzione, sia per il compito di rendere confortevoli e sicuri gli ambienti di vita e lavoro, sia per la numerosità e complessità di sviluppo delle reti impiantistiche installate negli edifici.

Nello specifico, il modello impiantistico BIM è noto come MEP (Mechanical Electrical Plumbing) e contiene tutti i dati necessari a definire il progetto in maniera qualitativa e quantitativa, grazie agli opportuni disegni e calcoli.

Come nei modelli architettonici e strutturali, anche il modello MEP è composto da oggetti parametrici, caratterizzati dalla

presenza di connettori intelligenti che ne permettono l'interazione reciproca e il riconoscimento all'interno di una tipologia di sistema. Analogamente alle proprietà di ogni elemento, anche i connettori sono editabili secondo le specifiche esigenze e possono essere aggiunti e/o rimossi rispetto a componenti presenti nel progetto o derivanti da altri disegni.

Poiché la redazione di un progetto MEP solitamente avviene con un modello architettonico e strutturale collegato, il risultato finale è caratterizzato da un maggiore controllo del sistema edificio-impianto, con riduzione delle possibilità di errori di vario genere.

1.3 LOD

Uno dei vantaggi derivanti dall'uso del BIM e dalla suddivisione del progetto in modelli specifici delle varie discipline è dato dalla facile collaborazione tra gli attori coinvolti e di come questi possano sviluppare autonomamente le singole parti di un progetto secondo i particolari obiettivi richiesti, pur mantenendo un controllo complessivo della struttura.

Per spiegare meglio questa possibilità è necessario introdurre il concetto di LOD, definito nel protocollo Building Information Modeling Protocol Exhibit⁴, pubblicato dall'American Institute of Architects nel 2008.

L'acronimo LOD, che può essere considerato secondo due accezioni (Level Of Detail o Level Of Development), viene

utilizzato per indicare le caratteristiche dei vari elementi modellati all'interno del progetto. Quando viene inteso come Level of Detail si intende sottolineare il livello di dettaglio dell'oggetto, mentre quando lo si intende come Level of Development si evidenzia il livello di sviluppo rispetto alle varie fasi di progettazione.

Questo concetto viene ripreso dalle normative nazionali specifiche che, tra di loro, presentano nomenclature differenti pur mantenendo una corrispondenza univoca.

Con riferimento alla normativa americana, si individuano sei livelli di LOD, di seguito riportati nella loro definizione ufficiale:

USA CONVENTION	DESCRIPTION
LOD 100	<i>The Model Element may be graphically represented in the Model with a symbol or other generic representation, but does not satisfy the requirements for LOD 200. Information related to the Model Element (i.e. cost per square foot, tonnage of HVAC, etc.) can be derived from other Model Elements.</i>
LOD 200	<i>The Model Element is graphically represented within the Model as a generic system, object, or assembly with approximate quantities, size, shape, location, and orientation. Non-graphic information may also be attached to the Model Element.</i>
LOD 300	<i>The Model Element is graphically represented within the Model as a specific system, object or assembly in terms of quantity, size, shape, location, and orientation. Non-graphic information may also be attached to the Model Element.</i>
LOD 350	<i>The Model Element is graphically represented within the Model as a specific system, object, or assembly in terms of quantity, size, shape, orientation, and interfaces with other building systems. Non-graphic information may also be attached to the Model Element.</i>
LOD 400	<i>The Model Element is graphically represented within the Model as a specific system, object or assembly in terms of size, shape, location, quantity, and orientation with detailing, fabrication, assembly, and installation information. Non-graphic information may also be attached to the Model Element.</i>
LOD 500	<i>The Model Element is a field verified representation in terms of size, shape, location, quantity, and orientation. Non-graphic information may also be attached to the Model Elements.[4]</i>

Fig. 4 Definizione dei livelli di LOD.

Nella normativa italiana, nello specifico nella parte 4 della UNI 11337:2017⁵, la classificazione si articola su una scala da "A" a "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.

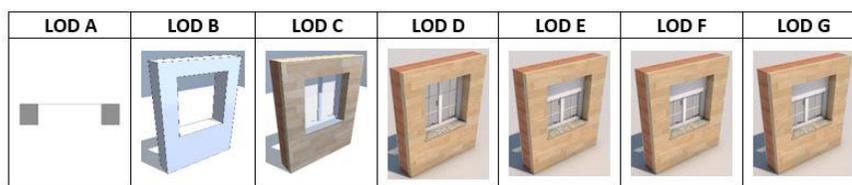


Fig. 5: Schema all'interno della Normativa Italiana 11337:2017 Parte 4.

In osservanza della normativa illustrata, il progetto dell'impianto è stato sviluppato con un LOD 350 poiché in grado di fornire tutte le informazioni necessarie per una simulazione dinamica del comportamento termico dell'edificio. A livello di modellazione parametrica con il fine di elaborazione di tavole progettuali il LOD considerato è stato il LOD C delle normativa italiana, in quanto il predimensionamento dell'impianto e di tutte le sue componenti è stato indicativo in base ai valori ottenuti dall'analisi del carico termico, ma non supportato da un'attenta valutazione ingegneristica riguardo ad aspetti peculiari, come l'analisi dei flussi e delle portate dei vari tubi e condotti.

1.4 Interoperabilità

Uno dei principi base del BIM è l'interoperabilità, intendendosi nello specifico sia la possibilità di interazione e interscambio di dati tra diversi utenti sia quella di facilitare lo scambio di dati fra software differenti, con l'obiettivo di offrire un elevato grado di sinergia tra sistemi non omogenei destinati alle diverse funzionalità.

1.4.1 Interoperabilità tra Utenti

Il BIM essendo una tecnologia trasversale, permette la massima accessibilità ai dati da parte dei diversi utenti al fine di consentire una consultazione immediata delle informazioni, con il superamento di vincoli di tempo e luogo.

Dà quindi la possibilità di scambiare e/o condividere dati di progetto su piattaforme in rete di scambio dei dati di tipo CDE, Common Data Environment, definita in Italia come ACDat, ovvero Archivio di Condivisione Dati, dalla Norma UNI 11337 parte 4.

Oggi il flusso di lavoro (workflow) che si verifica nell'ambito della progettazione è spesso disordinato, incorrendo spesso in errori e perdite di informazioni poiché consiste nel passaggio di dati 2D tra programmi, come per esempio AutoCAD.

Attraverso l'interoperabilità tra diversi utenti, ovvero diverse figure professionali specializzate ognuna alla propria

disciplina, è possibile condividere in rete dati progettuali e tecnici.

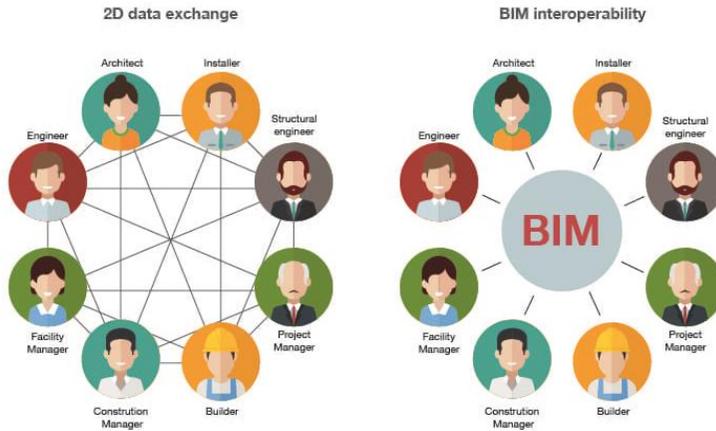


Fig. 6: Schema rappresentativo della differenza di collaborazione tra utenti nell'ambito tradizionale e BIM.

Fonte:
<http://biblus.acca.it/focus/ifc-cose-e-quali-sono-i-vantaggi/>

Applicazione al caso studio

Applicando il principio di interoperabilità al caso studio, si è sperimentata la condivisione dei dati in rete (worksharing) attraverso i due modi principali di collaborazione: i Workset e i Link.

Nel caso dei Workset ogni utente condivide le informazioni sincronizzando i file locali ad un file centrale di riferimento che viene aggiornato mostrando l'avanzamento lavori degli utenti coinvolti in tempo reale.

Nel caso dei Link il modello centrale (DB Central) non viene utilizzato ma ogni utente condivide i dati senza poter visionare l'avanzamento lavori degli altri modelli.

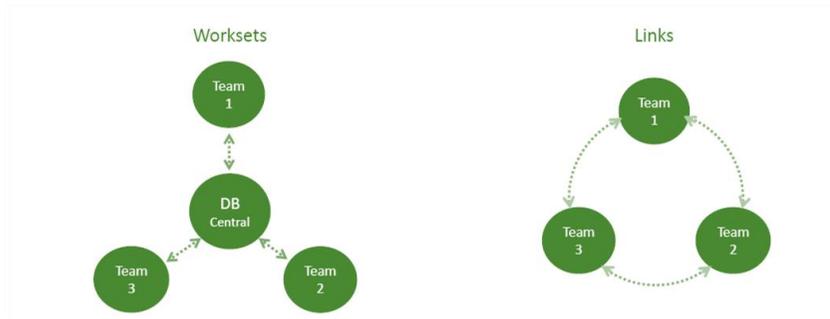


Fig. 7: Schemi prodotti dalle slide del corso “Modellazione digitale parametrica” della prof.ssa A.Osello e M. Del Giudice.

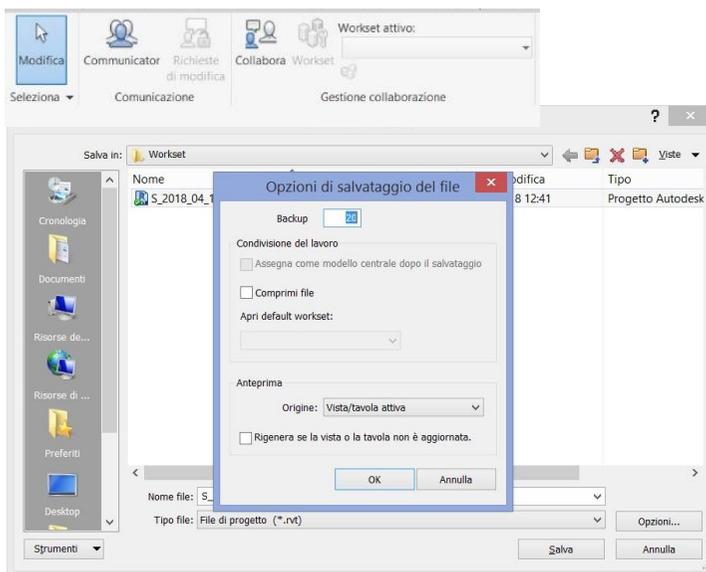
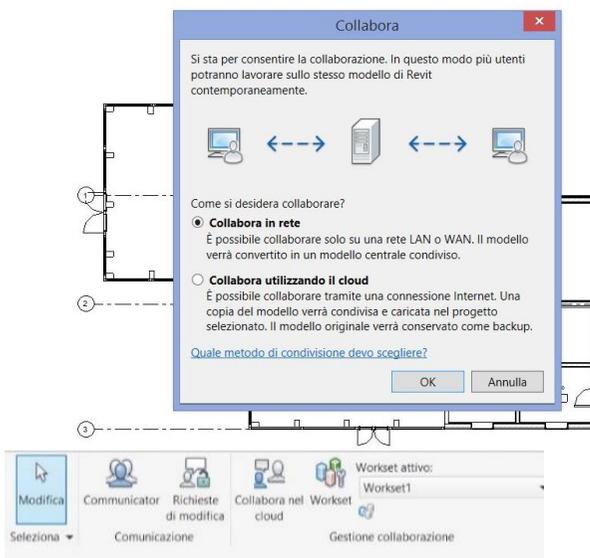
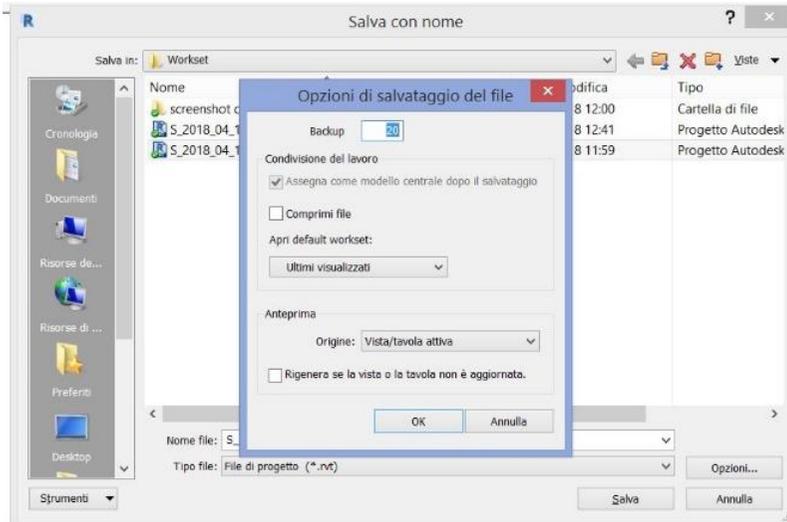


Fig. 8: Illustrazione dei passaggi necessari per l'impostazione della collaborazione in rete tra utenti.





In fase sperimentale si è provato a condividere sulla piattaforma Dropbox attraverso Workset, il file locale contenente il MEP e il file locale contenente l'architettonico e strutturale, attivando il modello Centrale.



Fig. 9: Avviso del programma relativo all'impossibilità della collaborazione in rete.

Non è stato possibile collaborare in Cloud per la mancanza di acquisto del servizio Collaboration per Autodesk Revit. Si è proceduto inizialmente per Workset.

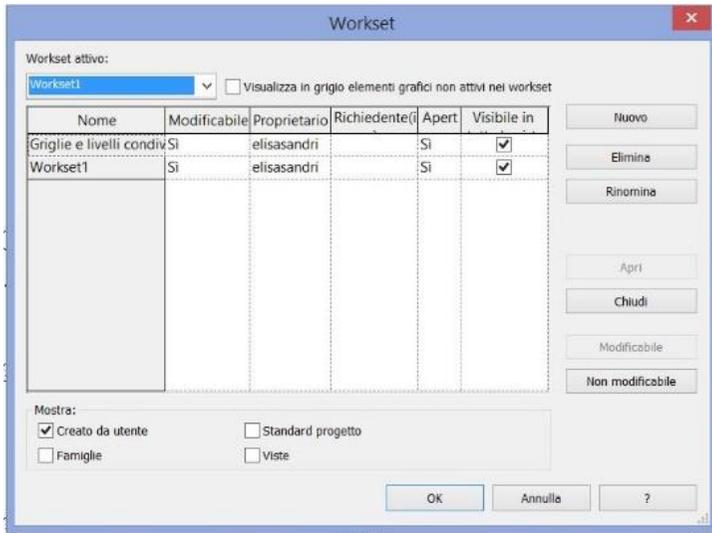


Fig. 10: Impostazione dei workset di progetto.

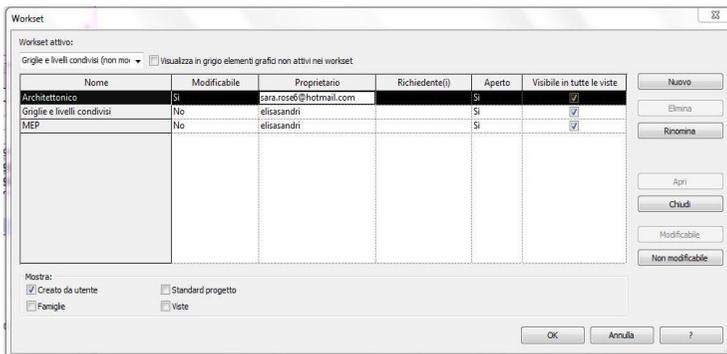
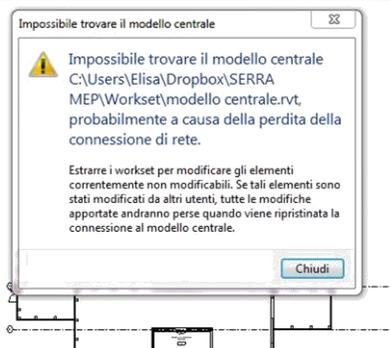


Fig. 11: Procedimento relativo all'utilizzo dei workset di progetto.



Come piattaforma di condivisione si è utilizzato Dropbox, dove avviene la sincronizzazione dei file locali con il modello centrale; purtroppo fin da subito si sono verificati dei problemi di connessione che non hanno permesso la continuazione di aggiornamento dati, rischiando di perdere le informazioni condivise. Si è deciso quindi di procedere per Link, ovviando dunque ai vincoli sopra citati legati al processo di progettazione.

1.4.2 Interoperabilità tra software

L'interoperabilità tra software è permessa grazie alla possibilità di esportare e importare file, la cui estensione è supportata da tutti i programmi utilizzati attraverso cui avviene la condivisione dei dati.

Data la grande varietà dei mezzi informatici a disposizione nel panorama mondiale, pari a quella di usi possibili del modello, si riportano solamente le definizioni dei principali formati di scambio sperimentati nel presente lavoro di tesi:

- ifc: Industry Foundation Classes, sviluppato da buildingSMART (International Alliance for Interoperability, IAI), è un modello di dati basato su oggetti e la cui specifica è stata riconosciuta e registrata come norma internazionale ISO 16739:2013⁶. L'IFC definisce più formati di file che possono essere utilizzati, sostenendo varie codifiche degli stessi dati sottostanti. La struttura del database del formato IFC deriva dal formato STEP, descritto nella norma ISO 10303⁷.

Il formato STEP funge da riferimento nel mondo dell'edilizia industriale e consente lo scambio della geometria e dei dati necessari alla costruzione. Si tratta di un formato neutro, indipendente dal software utilizzato. Uno dei limiti di questo formato è però rappresentato dalla mancata possibilità di conservare il concetto di insieme relativo ai parametri delle famiglie Revit. Vengono infatti mantenute le proprietà e i valori associati, ma una volta esportati perdono la loro capacità di influenzare la geometria.⁸

- gbXML: Green Building eXtensible Markup Language, è uno schema dei dati aperto, ottimizzato per il trasferimento delle informazioni riguardanti le proprietà termo-fisiche dell'edificio, con lo scopo di ridurre i problemi di interoperabilità.⁹
- idf: Intermediate Data Format, è stato ideato da David Kehmeier presso la Mentor Graphics Corporation e viene utilizzato per interoperare tra la modellazione solida e la modellazione meccanica della progettazione.¹⁰ È un formato molto semplice che può essere modificato manualmente in un editor di testo (come il comune Blocco Note).
- nwc: è il formato del file di esportazione per il programma Autodesk Naviswork e funziona con tutta una serie di prodotti, tra i quali quelli basati su AutoCAD e Revit, nonché 3ds Max, Bentley MicroStation e Graphisoft ArchiCAD. Contiene esclusivamente una

versione cache della geometria del modello convertita.¹¹

1.5 Il caso studio

IL SANTUARIO DEL TROMPONE

Il santuario del Trompone di Moncrivello, il cui nome ufficiale era Santa Maria delle Grazie di Moncrivello, prende il nome dal termine dialettale "trumpa" (tronco). Come tramanda San Carlo Borromeo, l'origine della chiesa risale al 1559, in seguito all'apparizione su un tronco della Beata Vergine, la quale ordinò a una donna fortemente malata, dopo averla guarita, di costruire in quel luogo un santuario in suo onore.

Il santuario venne eretto tra l'anno 1559 e 1562 (anno in cui ottenne l'autorizzazione da papa Pio IV) per volontà della Signora Gabriella dei conti di Valperga, moglie del marchese di Moncrivello. Nel 1568 fu completata la "rotonda" rinascimentale, mentre nel 1600 venne accostato a sud il prolungamento chiesastico a tre navate. Negli stessi anni fu aggiunto ad ovest il convento. Concluso nel 1659, fu affidato, per 180 anni dal 1627, ai Frati Minori Francescani della Provincia di Torino.

Accanto alla chiesa, sorsero un chiostro e una casa religiosa assegnata ai Cappuccini (1627-1802) i quali, a causa delle soppressioni degli ordini religiosi, furono costretti a lasciare il santuario nel 1802. Solo nel 1827 vennero sostituiti dai Cistercensi. Con l'allontanamento di questi ultimi nel 1866, il

santuario rimase chiuso fino al 1881, quando fu riaperto al culto e affidato al clero diocesano che trasformò il chiostro e la casa religiosa in seminario. In questi anni, dal 1883 al 1893, furono eretti due palazzi in stile neoclassico voluti dall'Arcidiocesi di Vercelli.

Nell'ottobre 1970 l'Arcivescovo mons. Albino Mensa concesse in comodato al Beato Luigi Novarese, fondatore dei Silenziosi Operai della Croce, tutto lo stabile affinché lo adibisse a Centro residenziale con attività socio-riabilitativa e corsi professionali per giovani disabili.

Attualmente il complesso ospita diverse funzioni:

- la Casa di Cura " Mons. Luigi Novarese", centro specializzato nel recupero e riabilitazione funzionale;
- la Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA) "Virgo Potens", che ospita malati in stato vegetativo e persone affette da patologie neurologiche molto invalidanti.

Per poter accogliere le strutture sanitarie ASL, tra il 2011 e il 2015 sono state eseguite tutte le opere necessarie alla ristrutturazione e adeguamento normativo e per la sicurezza strutturale e antincendio;

- un centro formativo a livello spirituale e associativo per le persone sofferenti malattie o handicap, che ospita anche corsi di formazione professionale accreditati e mettendo a disposizione i locali necessari per il Corso di Laurea in Terapia Occupazionale, in collaborazione con l'Università Cattolica del Sacro Cuore, la Facoltà di Medicina e Chirurgia di Roma;

- il convento dei Silenziosi Operai della Croce;
- il santuario della Madonna del Trompone.

Inoltre all'interno del complesso esistente è prevista l'attivazione dei progetti, oggetti di studio dei vari lavori di tesi, per la realizzazione di:

- un centro Alzheimer;
- un giardino d'inverno;
- una serra bioclimatica.



Fig. 12: Ortofoto da Geoportale, del complesso ospedaliero, con evidenziati i casi studio di lavoro.

Nello specifico la seguente tesi si sviluppa intorno al progetto di una serra bioclimatica dedicata ai pazienti e ai familiari per il relax e altre attività.

2.METODOLOGIA

Il progetto di tesi, che si inserisce all'interno di un gruppo di lavoro più ampio, chiamato BIM for Health, si basa sull'elaborazione di una serie di dati di input presenti nel Common Data Environment creato sulla piattaforma di condivisione cloud Dropbox.

Lo scopo del lavoro è analizzare il comfort termico all'interno della serra bioclimatica di progetto, partendo da un modello parametrico 3D per arrivare allo sviluppo di un modello BEM adatto ad effettuare le analisi legate alle simulazioni energetiche.

Il processo ha permesso di indagare le potenzialità dell'interoperabilità in BIM con particolare attenzione agli aspetti legati alla modellazione impiantistica e all'analisi del comportamento energetico dell'edificio. Partendo dallo sviluppo dei singoli modelli (architettonico, strutturale e MEP), è stato necessario ricavare due tipologie di file supportati dai rispettivi programmi selezionati per le due finalità, ovvero:

- un file .nwc per l'analisi delle interferenze attraverso il software Naviswork;
- un file .gbXML per la generazione di un modello BEM in Design Builde per la simulazione dinamica del comportamento termico della struttura.

In entrambi i casi l'elaborazione dei dati non è stata rappresentata da un percorso lineare, poichè il corretto sviluppo dei processi sopra indicati ha comportato la necessità di rielaborazione delle informazioni iniziali a diversi stadi dell'avanzamento delle analisi.



2.1 Progettazione condivisa

La progettazione condivisa in un gruppo di lavoro ha imposto scelte architettoniche, compositive e tecnologiche, oggetto di condivisione tra i vari progettisti in un'ottica generale di progettazione sostenibile, caratterizzata sin dalle prime fasi del progetto, da una forte attenzione agli aspetti di efficientamento energetico.

I file ed i dati necessari alle varie analisi sono stati condivisi all'interno della piattaforma comune Dropbox, organizzata secondo una gerarchizzazione delle cartelle e della nomenclatura dei file univoca¹². La struttura, ideata e definita già dai tesisti precedenti e perfezionata da un altro tesista, segue le regole di condivisione così come richiesto dal protocollo PAS 1192-2014. Tale il CDE, Common Data Environment, è l'equivalente dell'attuale ACDat, ovvero "Ambiente di Condivisione Dati", definito dalla Norma UNI 11337 parte 5.

Nel caso pratico l'organizzazione prevede la creazione di alcune cartelle caratterizzate da diversi contenuti:

- WIP: "Work in progress", file in fase di modifica fino al raggiungimento di un determinato livello;
- SHARED: file Wip verificati e perciò messi in condivisione con gli altri team disciplinari;
- PUBLISHED: file Shared autorizzati e documentazione relativa al progetto che viene approvata dalla committenza;
- ARCHIVED: file archiviati dei progetti.

Nell'area di lavoro sono contenuti i modelli parametrici riferiti ad ogni intervento di progetto, che a loro volta vengono suddivisi per disciplina, al fine di poter controllare lo sviluppo di ognuno di essi nelle sue fasi di progettazione. In una prima fase si è lavorato nell'ambiente di lavoro "Wip", condividendo i propri file nella propria cartella di riferimento. Con la successiva implementazione dei singoli modelli disciplinari si è utilizzata l'area di lavoro "Shared", mantenendo la nomenclatura codificata in precedenza.

The image shows two screenshots of a Dropbox folder structure. The top screenshot shows the 'BIMforHealth' folder containing 'DOCUMENTI' and 'CDE'. The bottom screenshot shows the 'CDE' folder containing '1_WIP', '2_SHARED', '3_PUBLISHED', and '4_ARCHIVED'.

Dropbox > BIMforHealth >		
Nome	Ultima modifica	Tipo
DOCUMENTI	11/04/2018 11:06	Cartella di file
CDE	13/12/2017 15:30	Cartella di file

Dropbox > BIMforHealth > CDE >		
Nome	Ultima modifica	Tipo
1_WIP	11/04/2018 11:06	Cartella di file
2_SHARED	24/06/2018 22:04	Cartella di file
3_PUBLISHED	28/09/2017 11:24	Cartella di file
4_ARCHIVED	28/09/2017 11:24	Cartella di file

Fig. 13: Struttura della cartella BIMforHealth definita su Dropbox.

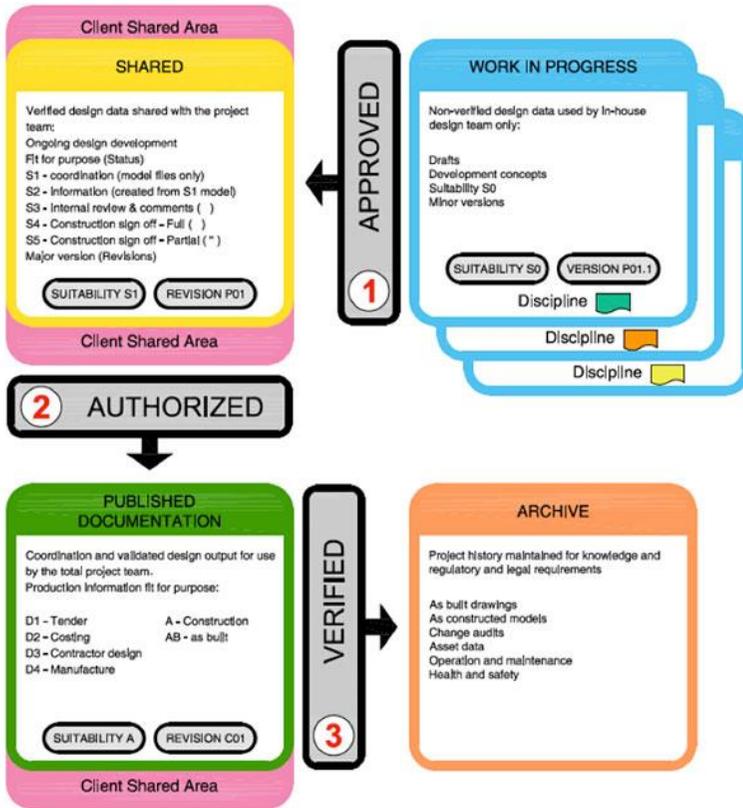


Fig. 14: Regole di condivisione nel CDE, stabilite dalla BS1192:2007.



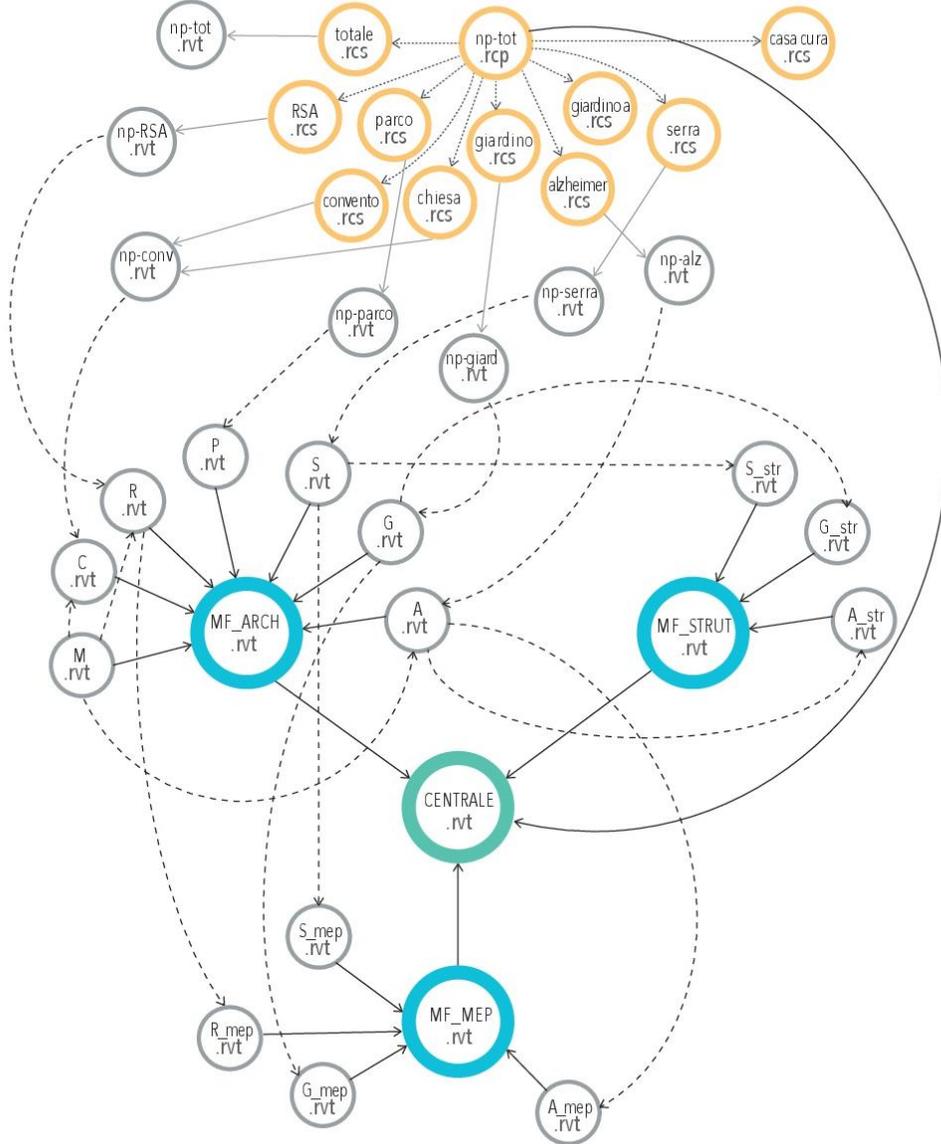
Fig. 15: Nomenclatura dei file in WIP e in SHARED.

Tale organizzazione ha richiesto anche la definizione di alcune regole di coordinamento tra modelli, ipotizzando due modi di condivisione diversi, legati a una duplice necessità di lettura dei vari progetti:

- Condivisione 1: creazione di modelli federati suddivisi per disciplina, collegati al modello di coordinamento centrale;
- Condivisione 2: creazione di singoli modelli federati multidisciplinari rappresentanti i diversi interventi di lavoro, collegati al modello di coordinamento centrale.

Entrambi i sistemi di condivisione vengono illustrati nei due schemi successivi, prodotti e rielaborati rispettivamente dai colleghi tesisti all'interno del gruppo di lavoro già precedentemente citati.

STRATEGIA DI CONDIVISIONE_VERSIONE 4



TIPOLOGIA DI FILE:

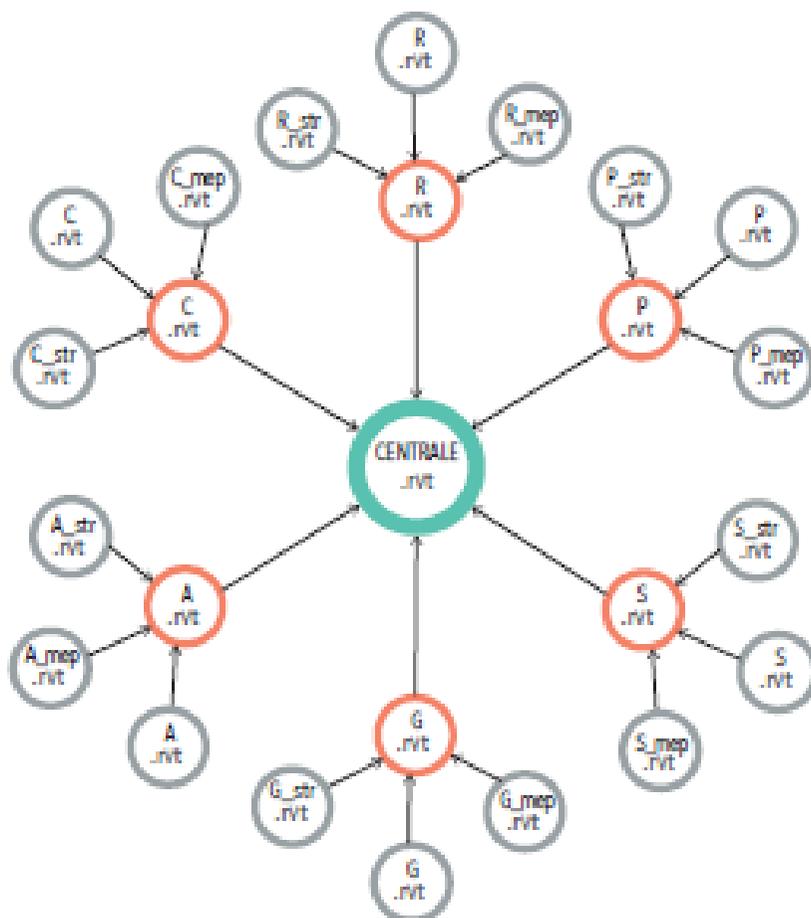
- Modello .rvt
- Nuvole di punti .rcs o .rcp
- Modello centrale .rvt
- Modello federato .rvt (architettonico, strutturale e impiantistico)

TIPOLOGIA DI COLLEGAMENTO:

- > link per associazione (Attachment)
- > link per sovrapposizione (Overlay)
- > Importazione della nuvola di punti nel modello .rvt
-> Esportazione da .rcp a .rcs

Schema rappresentante il sistema di condivisione 1, a cura di Isabella Dusì.¹³

STRATEGIA DI CONDIVISIONE_VERSIONE SdP



TIPOLOGIA DI FILE:

-  Modello .nvt
-  Modello federato per zona .nvt
-  Modello centrale .nvt

TIPOLOGIA DI COLLEGAMENTO:

 link per associazione (Attachment)

Schema rappresentante il sistema di condivisione 2, a cura di Isabella Dusi.¹⁴

2.1.1 Il progetto architettonico e strutturale

Il progetto architettonico, oggetto di indagine nella tesi di laurea magistrale di Rosato Sara intitolata “BIM per il Construction Management, Metodologia applicata al progetto di una serra bioclimatica al complesso del Trompone”, viene riportato tramite l’estrappolazione di immagini significative della struttura.

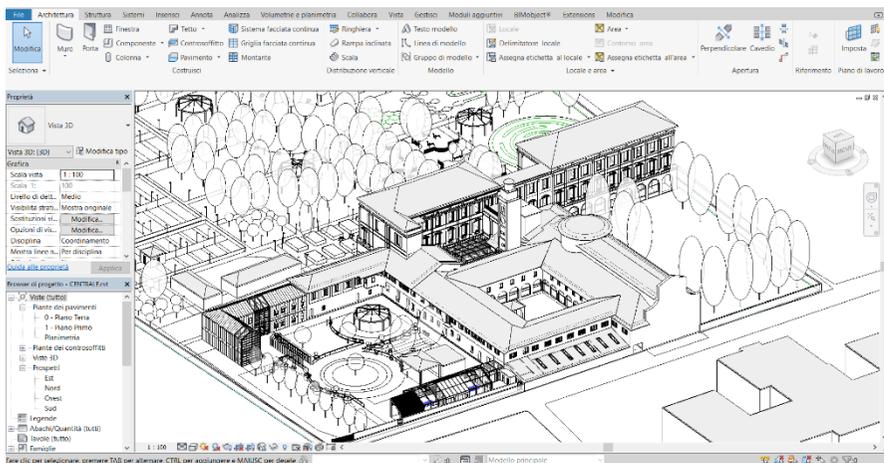


Fig. 16: Vista assonometrica del progetto inserito nel modello centrale in Revit.

Ad una prima analisi si può notare che l’edificio presenta degli accorgimenti utili all’ottimizzazione delle prestazioni energetiche, andando ad aumentare l’ombreggiamento interno attraverso l’installazione di un brise soleil esterno all’involucro trasparente e una terrazza coperta la cui morfologia permette di sfruttarne l’ombra portata sulla serra.¹⁵

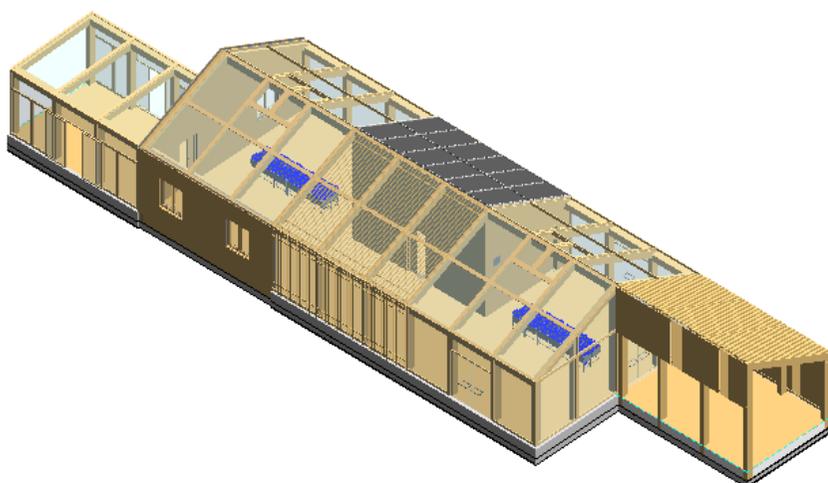


Fig. 17: Vista assometrica di dettaglio del progetto architettonico e strutturale.



Fig. 18: Vista prospettica del render di progetto esterno.

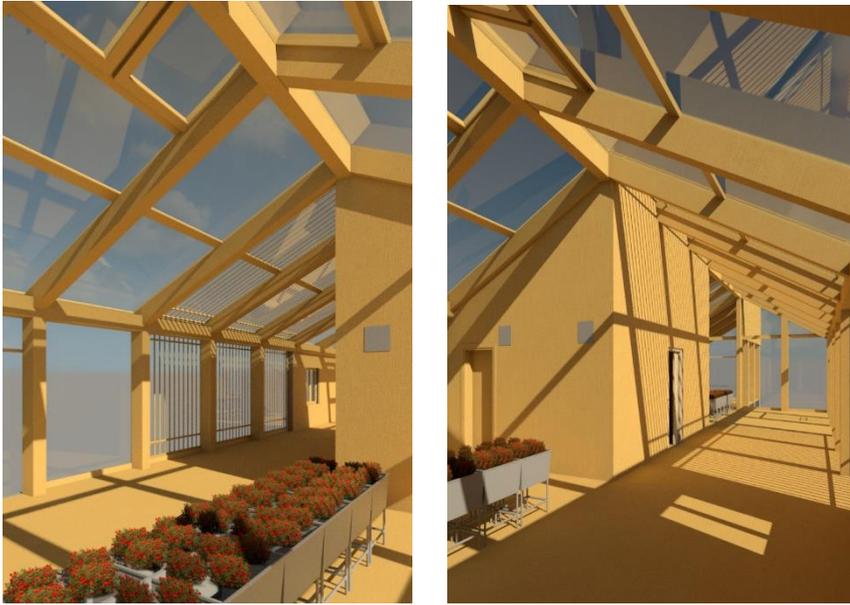


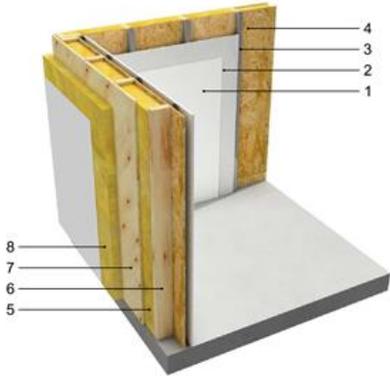
Fig. 19 e 20:
Render di progetto
interno.

2.1.2 Stratigrafie di progetto

Ai fini della certificazione energetica, lo studio delle componenti edilizie è stato effettuato in sinergia con le scelte architettoniche e strutturali. Obiettivo comune delle scelte preliminari è stato quello di elaborare una soluzione nell'ottica della sostenibilità, prevedendo materiali naturali e soluzioni prefabbricate. Le scelte tecnologiche, descritte anche nella tesi precedentemente citata¹⁶, sono di seguito riportate.

Parete Portante di tipo Basic

Il sistema costruttivo scelto è un sistema portante a telaio in legno, proposto dall'azienda E-Costruire, chiamato Parete Basic – P1B:

 <p>Stratigrafia dal sito web E-Costruire.</p>	Stratigrafia elementi	
	1. Rasatura superficiale a base gesso	ZONA CLIMATICA E U PERIODICA (W/m ² k) 0.030 Sfasamento (ore) 9h 51' U di PROGETTO (W/m ² k) 0.144
	2. Lastra in fibro gesso sp. 12.5 mm e barriera al vapore	
	3. Intercapedine impianti costituita da orditura metallica	
	4. Pannello OSB 3 con nastratura sp.18 mm	
	5. Pannello in lana di roccia densità media 40 kg/m ³	
	6. Struttura a telaio in legno KVH 60x140 mm	
	7. Tavolato in legno a 45° sp. 25 mm	
8. Cappotto in lana di roccia densità 90 kg/m ³ e con doppia rasatura superficiale e intonaco di finitura o rivestimento ligneo		

Il processo di assemblamento in opera della parete prevede due fasi distinte per il montaggio della parte strutturale e il rivestimento, per cui la scelta di quest'ultimo non segue la soluzione standard indicata dalla ditta ed è stato sostituito con una finitura in doghe di abete. Il rivestimento, sostenuto da un telaio di appoggio, crea un'intercapedine isolata e ventilata che previene le infiltrazioni d'acqua. Inoltre viene inserita una membrana traspirante, tra la rasatura esterna e il cappotto in lana di roccia, per evitare la formazione di condensa superficiale. Tale rivestimento fa riferimento al sistema di facciata ventilata in legno commercializzato dall'azienda Ravaioli soluzioni in legno, "Woodwrap", garantendo:

- Impatto ambientale limitato;
- Riciclabilità dei materiali
- Assenza di condensa e la relativa formazione di muffe e batteri;
- Assenza di rifiuti tossici generati durante la posa essendo a secco e senza collanti;
- Assenza di ponti termici.

I materiali isolanti sono costituiti da pannelli isolanti scelti tra quelli prodotti dalla casa Rockwool, in particolare vengono utilizzati:

- Lana di roccia con densità 90 kg/m^3 , adatta per le soluzioni a cappotto in quanto al cambio delle temperature non varia sensibilmente gli aspetti dimensionali essendo anche permeabile al vapore e contribuisce ad un maggior fonoisolamento dell'edificio nonché alla protezione ignifuga, ritardando la propogazione del fuoco.



Pannello Rockwool con densità 90 kg/m^3

- Lana di roccia con densità 40 kg/m^3 , di caratteristiche analoghe a quello di densità di 90 kg/m^3 , prevede un'applicazione in intercapedine.



Pannello Rockwool con densità 40 kg/m^3 .

Il modulo finale presenta dunque le seguenti caratteristiche dall'esterno verso l'interno:

1. Rivestimento esterno con doghe di abete;
2. Membrana traspirante anti-vento;
3. Cappotto lana di roccia con densità 90 kg/m³;
4. Tavolato in legno a 45°;
5. Telaio coibentato internamente con pannelli di lana di roccia con densità 40 kg/m³;
6. Pannello in tavole a fibre orientate OSB 3 con nastratura;
7. Intercapedine per il passaggio degli impianti, orditura metallica con interposto pannelli di lana di roccia con densità 40 kg/m³;
8. Barriera al vapore;
9. Rivestimento interno con doghe di abete.

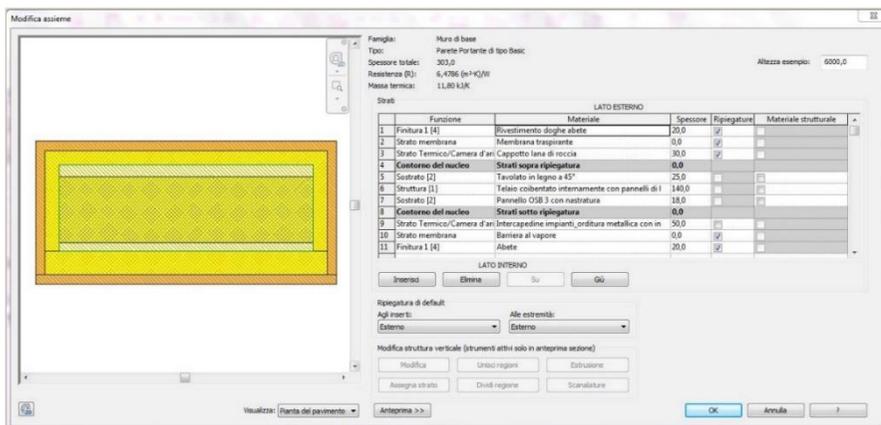
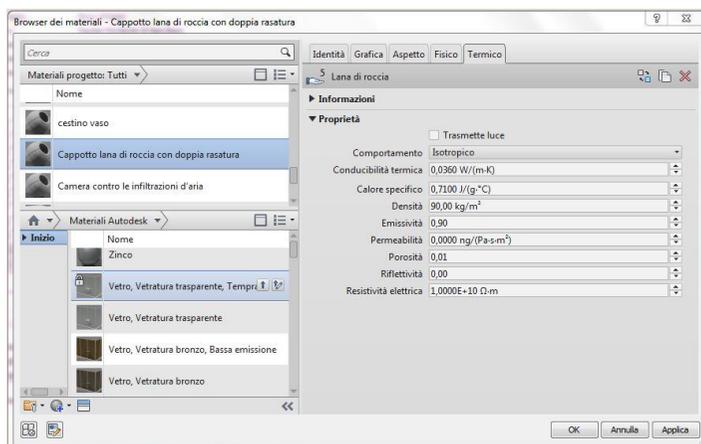
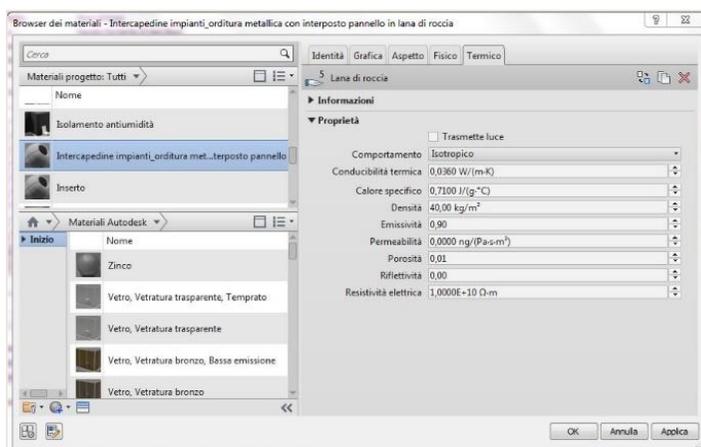


Fig. 21: Passaggi rilevanti della definizione delle stratigrafie dei sistemi di parete scelti.

È importante sottolineare che in Revit a tutti gli strati membrana viene associato di default uno strato di spessore zero in quanto

solitamente è dell'ordine del millimetro. Non per questo allo spessore nullo corrisponde una perdita di informazioni; infatti essendo definito come strato vengono mantenute le proprietà fisico-termiche computabili in appositi abachi.



Vengono rispettati i requisiti di trasmittanza richiesta, poiché il modulo presenta una trasmittanza termica di $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, che rientra all'interno dei requisiti minimi degli edifici delle prestazioni energetiche previsti dal DM del 26 giugno 2015 il quale stabilisce un valore di trasmittanza termica delle strutture

opache verticali di $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, che a partire dal 2021 verrà abbassata a $0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Tramezzo Interno

Secondo le scelte progettuali, anche le partizioni interne vengono commissionate alla medesima azienda produttrice. Esse hanno la seguente stratigrafia:

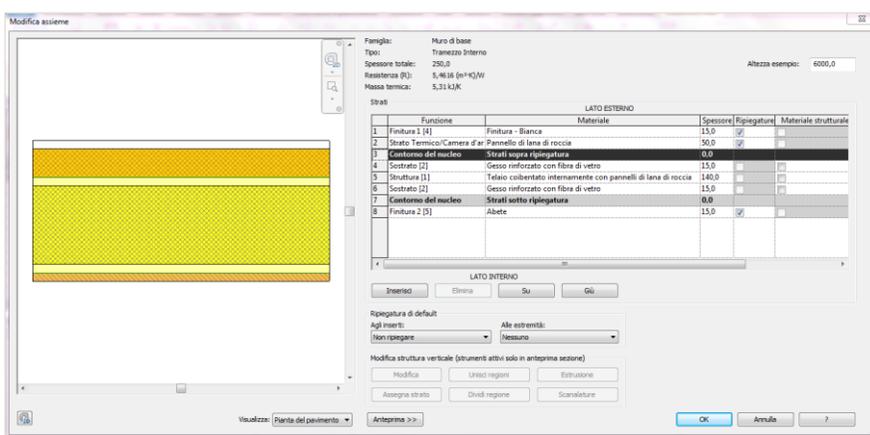
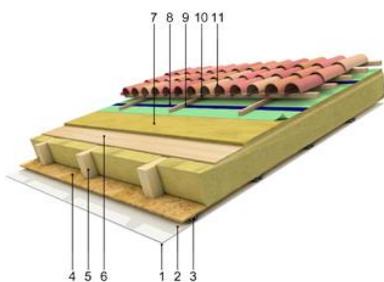


Fig. 23: Passaggi rilevanti della definizione delle stratigrafie dei sistemi di parete scelti.

Strutturale	
Strutturale	<input type="checkbox"/>
Attiva modello analitico	<input type="checkbox"/>
Utilizzo strutturale	Non portante

Copertura di tipo Futura

Per quanto riguarda la copertura, presente solo nella chiusura del blocco contenente il bagno, il deposito per le attrezzature mediche e il locale tecnico, la soluzione prevede la continuazione della stratigrafia in parete prendendo come riferimento la soluzione "Copertura Futura - CF1", dell'azienda E-Costruire.



Stratigrafia dal sito web E-Costruire.

	Stratigrafia elementi	
	1. Rasatura superficiale a base gesso	
	2. Lastra in fibro gesso sp. 10 mm e barriera al vapore	ZONA CLIMATICA E
	3. Orditura metallica per fissaggio fibro gesso con interposto pannello in lana di roccia sp. 50 densità media 40 kg/m ³	U PERIODICA (W/m ² k) 0.002 Sfasamento (ore)
	4. Pannello OSB 3 con nastratura	20h 49'
	5. Puntoni in legno lamellare piallati e trattati, sezione media pari a 12×24 con interposto pannello in fibra di legno densità media 110 kg/m ³	U di PROGETTO (W/m ² k) 0.101

	<p>6. Tavolato continuo in tavole di legno sp.20 mm con giunti a maschio e femmina</p>	
	<p>7. Pannello in lana di roccia sp. 60 densità media 150 kg/m³</p>	
	<p>8. Telo di protezione traspirante e impermeabile con nastratura dei giunti</p>	
	<p>9. Strato di ventilazione sotto tegola costituito da listelli distanziali sovrapposti all'isolante</p>	
	<p>10. Listello portategola</p>	
	<p>11. Manto di copertura ad elementi discontinui</p>	

Per la posa dei collettori solari termici, previsti per contribuire al fabbisogno energetico per l'acqua calda sanitaria, viene sfruttato il telaio di sostegno del manto di copertura, quest'ultimo da essi sostituito.

Dall'esterno verso l'interno, il modulo viene così presentato:

1. Pannelli solare termico con superficie in vetro captante selettiva;
2. Vasca e intercapedine debolmente ventilata;
3. Listellatura in legno per rivestimento e supporto dei collettori solari;
4. Strato di ventilazione costituito da listelli distanziali sovrapposti all'isolante;
5. Guaina impermeabilizzante;
6. Pannello in lana di roccia densità media 150 kg/m^3 ;
7. Tavolato in legno a 45° ;
8. Telaio coibentato internamente costituito da puntoni in legno lamellare piallati e trattati, con sezione media pari a 120×240 con interposto pannello in fibra di legno con densità media 110 kg/m^3 ;
9. Pannello in tavole a fibre orientate OSB 3 con nastratura;
10. Barriera vapore ritardante la fiamma;
11. Pannelli in lana di roccia con densità 40 kg/m^3 ;
12. Gesso rinforzato con fibra di vetro con orditura metallica per fissaggio delle lastre;

13. Intonaco di finitura bianca.

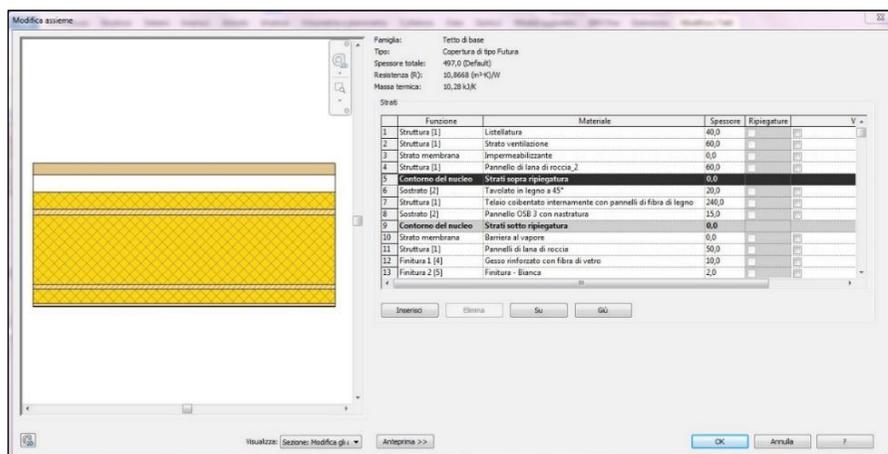


Fig. 24: Passaggi rilevanti della definizione delle stratigrafie del sistema di copertura scelto.

I pannelli non vengono inseriti nella definizione stratigrafica poiché la modellazione rientra all'interno della disciplina MEP, essendo legati alla definizione del sistema impiantistico.

Come le pareti esterne, il sistema della copertura rispetta i requisiti minimi delle prestazioni energetiche previste dal DM del 26 giugno 2015, rientrando nello $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ stabilito, valore che a partire dal 2021 sarà invece di $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Solaio interno

Il solaio, che poggia sulla platea di fondazione, ha la struttura di un vespaio areato, eliminando il ponte termico tra soletta e fondazioni e isolando gli ambienti interni dalla parte fredda. Il pavimento è costituito da un rivestimento in legno, mentre il sistema isolante prevede pannelli in polistirene espanso estruso, per uno spessore totale di 140 mm, facendo riferimento alla soluzione proposta dalla ditta tedesca Knauf (pannello di tipo K-FOAM C350).

La stratigrafia completa è costituita così da:

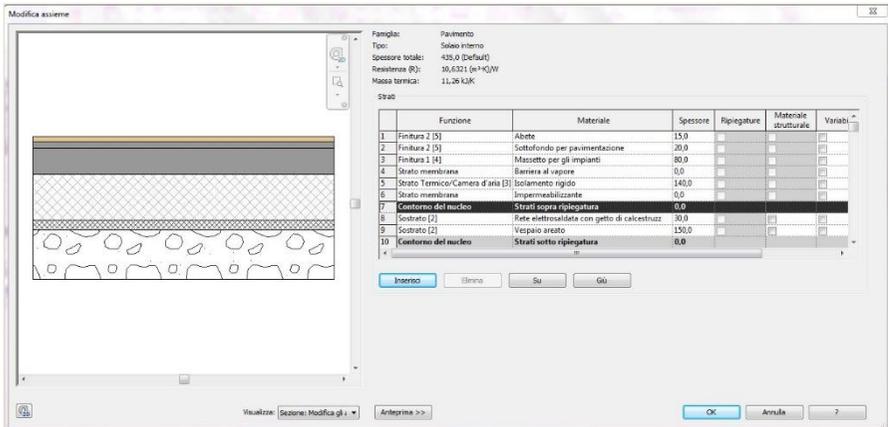


Fig. 25: Passaggi rilevanti della definizione delle stratigrafie del tipo di solaio scelto.

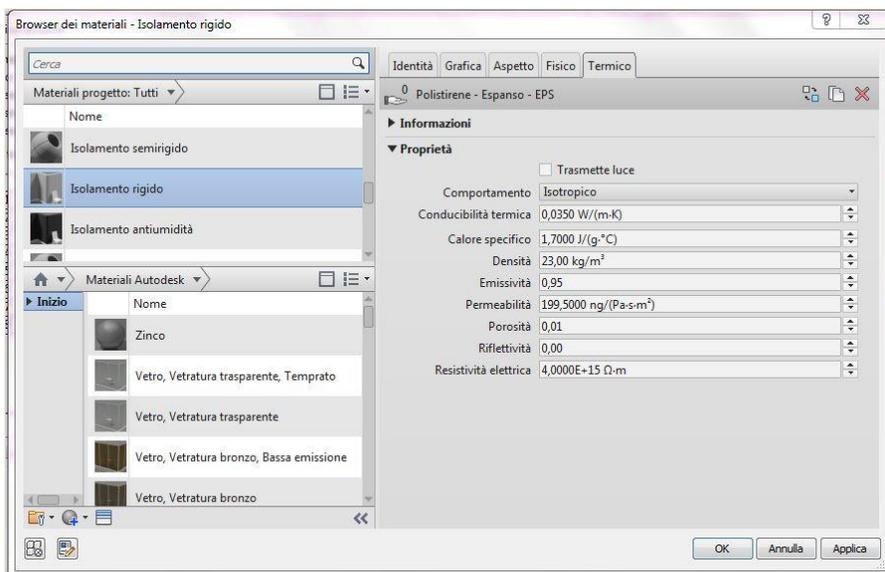


Fig. 26: Le immagini seguenti mostrano il settaggio delle proprietà isolanti per il pannello di polistirene espanso nel pacchetto del solaio



Fig. 27: Pannello di polistirene espanso nel pacchetto del solaio.

Solaio esterno

Il solaio esterno, che vede interessata solo l'impronta della terrazza coperta, si differenzia da quello interno alla serra essendo concepito come pavimento flottante, basato sul sistema UniFlair, prodotto dall'impresa Schneider. Il solaio, montato a secco e posato direttamente sulla platea con una guaina impermeabilizzante, permette lo scorrimento delle acque piovane lungo le fughe dei pannelli.

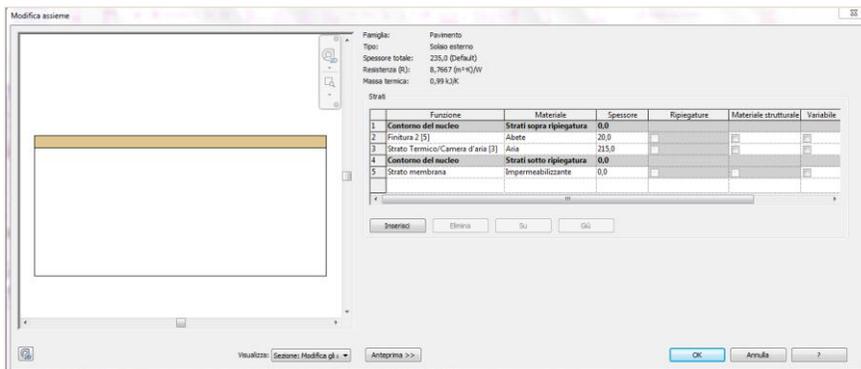


Fig. 28: Passaggi rilevanti della definizione delle stratigrafie del tipo di solaio scelto.

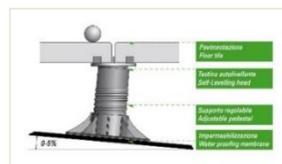
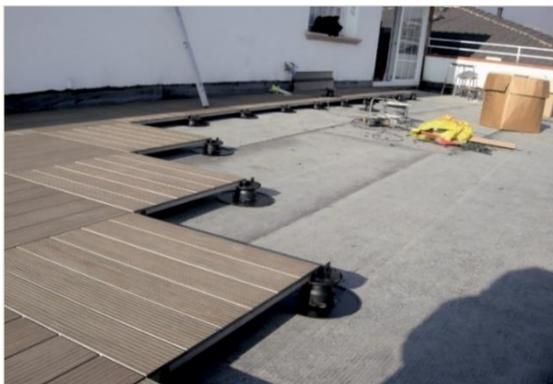


Fig. 29: Pavimento flottante Schneider.

Serramenti esterni

Con l'obiettivo di ridurre i consumi legati all'impianto per il riscaldamento e raffrescamento dell'edificio, i serramenti esterni che costituiscono l'involucro trasparente sono costituiti da un telaio misto legno-PVC (il primo verso esterno mentre il secondo verso l'ambiente interno) e da un doppio vetro basso emissivo con intercapedine riempita da gas argon, progettato attraverso "AGC glass configurator", disponibile sul sito dell'omonima casa produttrice.

Il vetro proposto presenta le caratteristiche illustrate nella specifica scheda tecnica riportata nella pagina seguente.

La tua composizione:

66.2 Stratobel 2x Planibel Clear - 16 mm Argon 90% - 4 mm iplus Top 1.1 pos.3

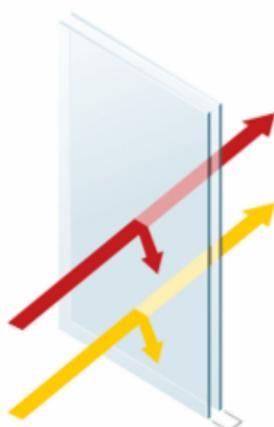
Note personali:

LUCE

Trasmissione	77
Riflessione	11

ENERGIA

Fattore solare	52
Riflessione	16



PROPRIETÀ TERMICHE (EN 673)	EN 673
Valore Ug - W/(m².K)	1.1

CARATTERISTICHE LUMINOSE (EN 410)

	EN 410
Trasmissione luminosa - τ_v (%)	77
Riflessione luminosa - ρ_v (%)	11
Riflessione interna - ρ_{vi} (%)	12
Indice di resa dei colori - RD65 - Ra (%)	95

CARATTERISTICHE ENERGETICHE

	EN 410	ISO 9050
Fattore solare - g (%)	52	50
Riflessione energetica - ρ_e (%)	16	16
Trasmissione energetica diretta - τ_e (%)	46	43
Assorb. energetico vetro 1 - α_e (%)	32	35
Assorb. energetico vetro 2 - α_e (%)	6	6
Assorbimento energetico - α_e (%)	38	41
Coefficiente di shading - SC	0.60	0.57
Trasmissione dei raggi ultravioletti - UV (%)	0	
Selettività	1.48	1.48

ALTRE CARATTERISTICHE

Resistenza al fuoco - EN 13501-2	NPD
Reazione al fuoco - EN 13501-1	NPD
Resistenza ai proiettili - EN 1063	NPD
Resistenza agli attacchi manuali - EN 356	P1A - P2A
Resistenza agli urti (Prova del pendolo) - EN 12600	1B1 / NPD

RIDUZIONE ACUSTICA

Isolamento al rumore aereo diretto (R_w (C;Ctr) - STIMA) - dB	39 (-1; -5) ⁽²⁾
Con PVB acustico (Stratophone) (R_w (C;Ctr)) - dB	40 (-2; -6) ⁽²⁾

SPESSORE E PESO

Spessore nominale (mm)	32.76
Peso (kg/m^2)	41

Il serramento per la facciata continua così scelto, in riferimento ai prodotti offerti dalla ditta Finstral, avendo una trasmittanza di $0,96 \text{ W/m}^2\text{K}$ permette di rientrare nei valori di trasmittanza previsti dal DM del 26 giugno 2015, che stabilisce i requisiti minimi degli edifici delle prestazioni energetiche a $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ dall'anno 2021).

Analogamente, anche il serramento per le finestre a una e due ante previste nel progetto rientra nei requisiti minimi previsti dal DM del 26 giugno 2015, avendo una trasmittanza termica di $1,02 \text{ W/m}^2\text{K}$.

2.2 IL CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO

Coerentemente con le disposizioni normative in ambito di certificazione energetica dell'edificio, un aspetto fondamentale per una buona progettazione è rappresentato dall'attenzione all'indice di prestazione energetica globale, definito generalmente come il rapporto tra la domanda di energia annua e la superficie utile [KWh/(m²annuo)]. La domanda di energia termica relativa alla climatizzazione di un edificio viene calcolata a monte delle conversioni operate dagli impianti e viene stimata sulla base di un bilancio termico dell'ambiente delimitato dall'involucro edilizio. Tale bilancio può essere effettuato sulla base di diversi metodi di calcolo che, a seconda dell'intervallo temporale considerato, si definiscono come:

- Stazionario: stagionale
- Semistazionario: mensile
- Dinamico: fino al minuto

Poichè i primi due considerano le variabili in condizioni esterne fisse, la valutazione in regime dinamico permette di valutare in modo più accurato gli effetti di trasmissione del calore poiché prevede la variabilità delle condizioni climatiche.

L'enorme numero di dati processati, unito alla caratteristica intrinseca delle metodologie dinamiche di avere intervalli temporali di simulazione molto brevi, comporta oneri di calcolo molto elevati. Per questo motivo le università e gli enti istituzionali che hanno sviluppato tali metodologie le hanno fin

da subito implementate in software dedicati, ottimizzando le lavorazioni.

2.2.1 Il modello EAM

La grande quantità di dati richiesta per un'analisi dinamica del comportamento energetico dell'edificio viene racchiusa nel modello EAM.

Con il termine EAM, Energy Analysis Model, si indica un'astrazione della forma e della struttura complessive di un edificio in una "rete computazionale" in grado di catturare efficacemente tutti i principali percorsi e processi di trasferimento del calore all'interno dell'edificio.

Il modello energetico viene creato nel software di modellazione Revit con attenzione alla seguente strategia:

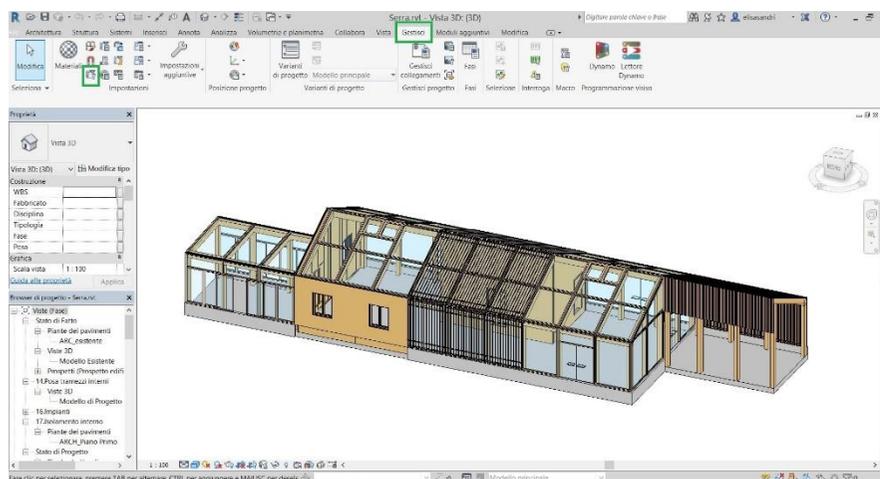


Fig. 30: Interfaccia del programma Revit per la definizione delle impostazioni energetiche.

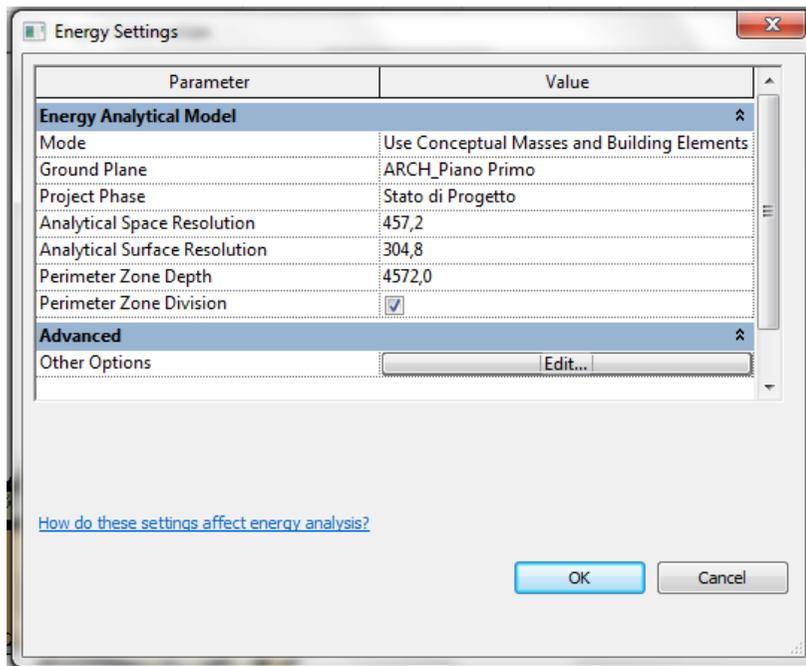
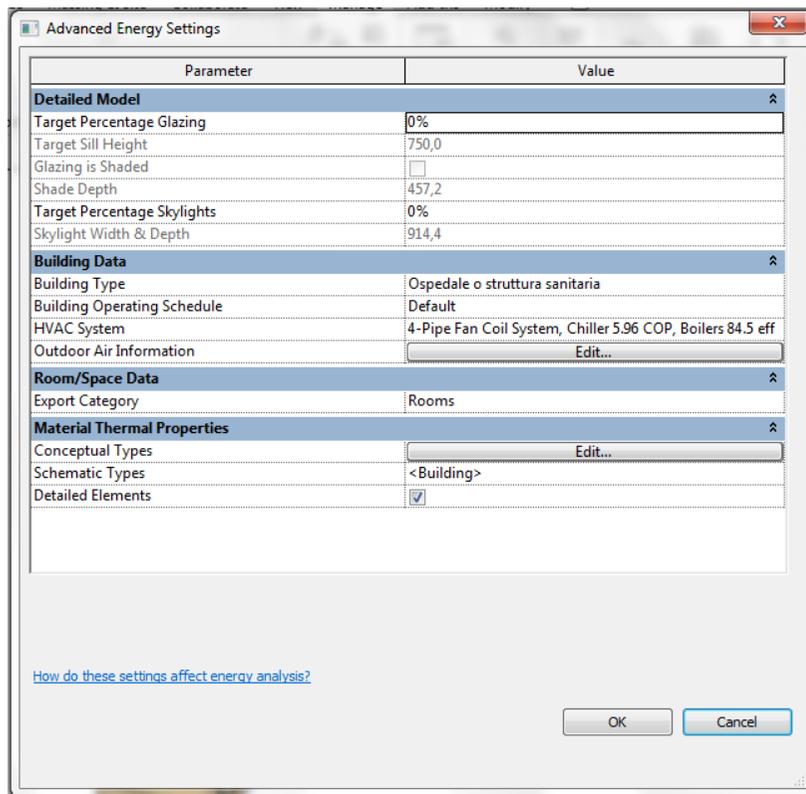


Fig. 31 e 32:
Passaggi significativi nella definizione delle impostazioni energetiche.



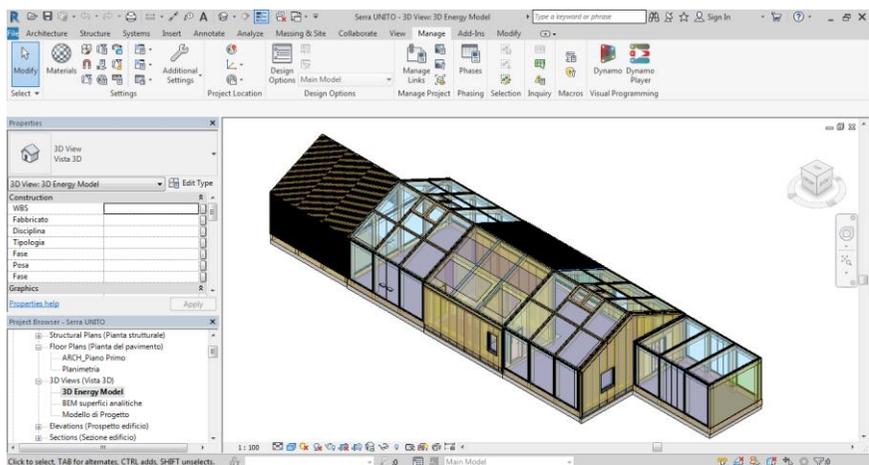


Fig. 33: Visualizzazione del modello energetico in Revit.

Andando ad analizzare il modello energetico in base allo schema gbXML si nota come questi sia costituito da tre componenti principali: vani e superfici analitiche e zone. I primi due indicano rispettivamente il volume d'aria e i percorsi in cui si ha un trasferimento di calore, mentre le zone indicano un insieme di vani aventi aspetti comuni, tra cui l'orientamento, la funzione o il sistema HVAC.

È necessario specificare che sia i vani che le superfici analitiche non sono editabili ma vengono generate automaticamente dal programma sulla base dei linguaggi e algoritmi di ottimizzazione informatica dei dati per la creazione del file .gbXML.

2.2.2 Il calcolo del fabbisogno all'interno del BIM

Nello scenario di una progettazione integrata dell'edificio, come già sottolineato in precedenza, i sistemi BIM offrono la possibilità di valutare le prestazioni energetiche dell'edificio essendo dotati di specifici motori di calcolo. Nel caso oggetto di studio, Revit offre la possibilità di effettuare un'analisi energetica grazie all'utilizzo di Energy Analysis for Autodesk Revit, modulo aggiuntivo che unisce le funzionalità di progettazione di Revit a quelle di analisi di Autodesk Green Building Studio.

Una volta creato il modello energetico e definite le zone di carico termico dell'edificio è possibile ottenere direttamente un report dei carichi utilizzando l'apposito comando nella scheda "Analyze", sotto il gruppo "Reports and Schedules" (nella versione in lingua inglese del programma).

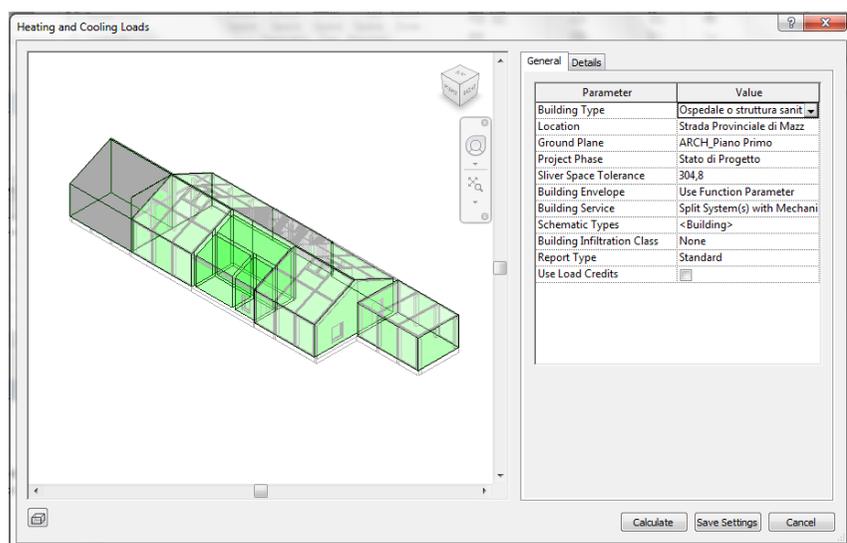
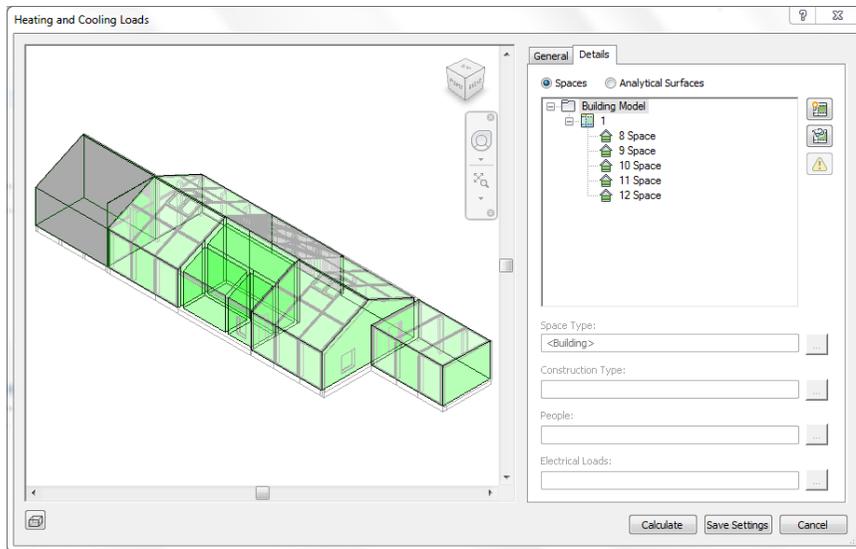


Fig. 34 e 35: Passaggi significativi per il calcolo dei carichi termici in Revit.



Building Summary

Inputs	
Building Type	Ospedale o struttura sanitaria
Area (m ²)	187
Volume (m ³)	723,60
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	38.373
Peak Cooling Month and Hour	August 13:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	37.495
Peak Cooling Latent Load (W)	879
Maximum Cooling Capacity (W)	38.373
Peak Cooling Airflow (L/s)	2.030,5
Peak Heating Load (W)	32.495
Peak Heating Airflow (L/s)	1.737,9
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	204,76
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	10,84
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	52,92
Cooling Area / Load (m ² /kW)	4,88
Heating Load Density (W/m ²)	173,39
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	9,27

Fig. 36: Tabella riassuntiva relativa all'analisi dei carichi termici complessivi della struttura.

Purtroppo questa metodologia presenta forti limitazioni quando il livello di dettaglio del progetto è già in stato avanzato poiché la costruzione analitica degli elementi non risulta personalizzabile in tutti i suoi componenti e proprietà fisico-termiche. Basandosi sulle impostazioni energetiche, tale procedura risulta molto utile in una fase preliminare in cui si hanno solo delle indicazioni generiche riguardo alla percentuale di involucro opaco e trasparente. Nel momento in

cui questi vengono definiti in modo completo nelle loro stratigrafie e composizioni il limite principale è dato dall'impossibilità di editare in tutte le sue caratteristiche gli elementi vetrati. Infatti, i serramenti non possono essere modificati secondo le specifiche esigenze di proprietà termiche, non comparando direttamente il valore di trasmittanza sia dell'infisso che del materiale vetro. Per il calcolo temico è possibile quindi scegliere esclusivamente una delle costruzioni analitiche proposte dal programma, presente in un menù a tendina in corrispondenza della voce specifica.

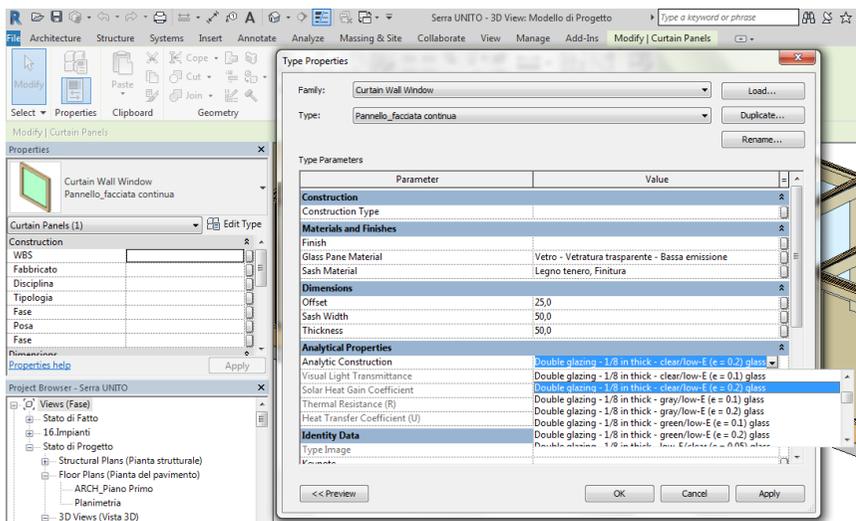


Fig. 37: Impostazione esempio delle proprietà analitiche dei componenti vetrati nel progetto.

In considerazione del livello di dettaglio delle informazioni richieste, non essendo prevista tra le opzioni proposte una soluzione analoga a quella di progetto, i valori ottenuti non risultano essere verosimili al caso studio. Motivo per cui è stato necessario esaminare le potenzialità di altri software al fine di ottenere un'analisi dei carichi affidabile. I programmi presi in

considerazione per un'analisi preliminare utile alla definizione dell'impianto sono stati in ordine:

- Green Building Studio, essendo il motore di calcolo in cloud legato a Energy Analysis for Revit;
- Insight 360, altro software collegato in cloud al progetto in Revit;
- Edilclima, programma di calcolo tradizionale di cui è presente sul mercato un plug-in per Revit, che permette un'analisi specifica dell'involucro edilizio al fine di un monitoraggio del comportamento termico dell'edificio in un regime stazionario.

Di seguito vengono illustrati brevemente i software citati e il loro utilizzo per il progetto, sottolineando potenzialità e limitazioni.

GREEN BUILDING STUDIO

Autodesk Green Building Studio è il software di calcolo utilizzato da Energy Analysis for Autodesk Revit per stimare il consumo energetico e i costi operativi dell'edificio.

Utilizzando come base un modello di Revit, l'analisi energetica si esegue grazie alla compressione del modello in un file di estensione .gbXML. Poiché la simulazione viene fatta nel sistema di condivisione online (cloud) insita in entrambi i programmi, le varie impostazioni di analisi energetica devono essere definite già nel modello Revit.¹⁷

È importante sottolineare che a ogni simulazione energetica inviata a Green Building Studio vengono associati, attraverso un algoritmo basato sulle variabili energetiche, i risultati di altre 60 simulazioni alternative. Questo permette di valutare in modo semi-automatico la necessità o meno di apportare modifiche alle scelte iniziali, costituendo un grande vantaggio nella fase preliminare di progettazione.

The screenshot displays the Autodesk Green Building Studio software interface. At the top, there is a navigation bar with tabs for 'My Projects', 'Dashboard', 'My Profile', and 'My Account'. Below this, a breadcrumb trail shows 'My Projects > energia energetica vanti'. The main area contains a table with columns for 'Name', 'Date', 'User Name', 'Floor Area (m²)', 'Energy Use Intensity (kWh/m²)', 'Electric Cost (€/kWh)', 'Fuel Cost (€/GJ)', 'Water', 'Fuel', 'Electricity (€/kWh)', 'Fuel (€)', 'Carbon Emissions (kg)', 'Compare', and 'Potential Energy Savings'. The table lists various simulation scenarios, including 'Energy Analysis of entire energy use' and 'Energy Analysis of entire energy use - 100%'. Each row provides specific data points for these metrics, such as energy use intensity values ranging from 2,071.0 to 2,983.0 kWh/m² and potential energy savings up to 246,921 kWh.

Fig. 38: Interfaccia principale di Green Building Studio al termine della simulazione di analisi.

Proprio per le caratteristiche appena esposte, anche Green Building Studio non risulta efficace nell'individuazione di un'analisi dei carichi idonea al caso di studio. Infatti sebbene sia vantaggiosa la possibilità di esaminare un ventaglio di proposte alternative, il calcolo del fabbisogno energetico per le specifiche di progetto già definite presenta gli stessi limiti riscontrabili in Revit e Energy Analysis for Revit.

Successivamente vengono proposte alcune immagini ricavate dalle schermate video del software, risultanti dalla simulazione relativa al progetto della serra.

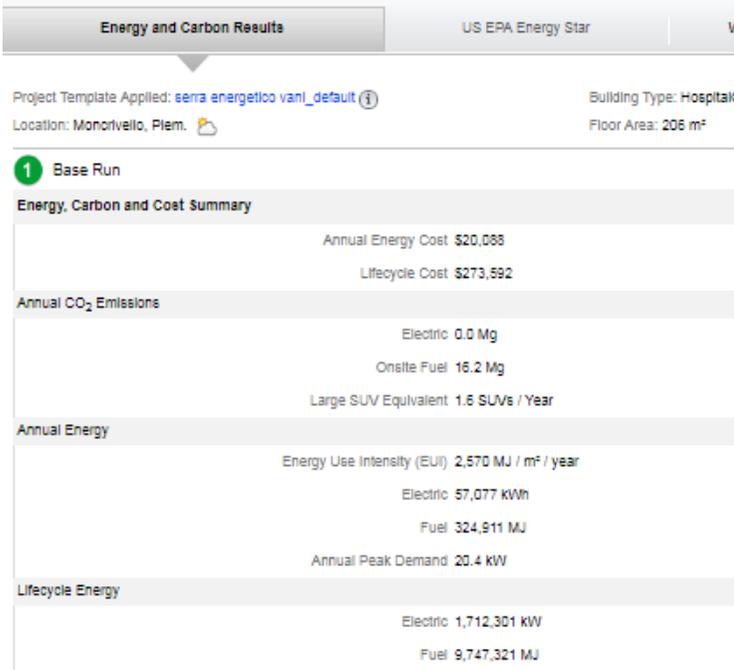


Fig. 39: Parte significativa dei risultati dell'analisi.

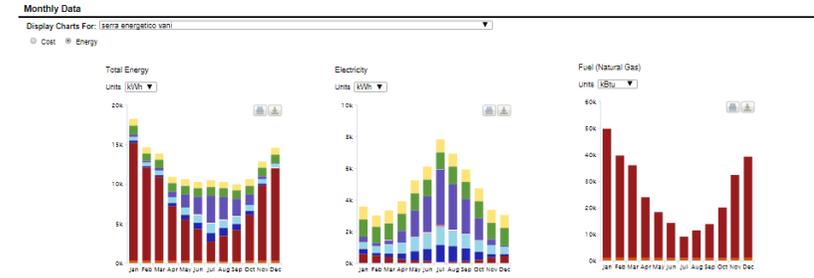
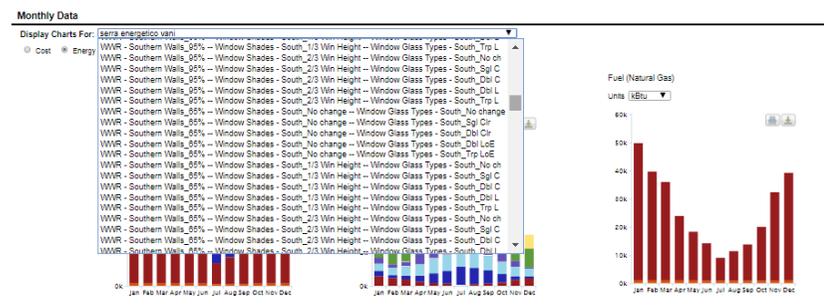


Fig. 40: Grafici rappresentanti i dati relativi ai consumi energetici dell'edificio.



Fig. 41 e 42: Grafici rappresentanti i dati relativi ai consumi energetici della serra di progetto e delle soluzioni alternative proposte dal motore di calcolo.



INSIGHT 360

Altro strumento messo a disposizione da Autodesk per l'analisi energetica, Insight 360 integra diverse applicazioni in una, compresa la modellazione energetica, l'analisi del carico di riscaldamento e raffreddamento, l'illuminazione e l'analisi solare e servizi cloud.¹⁸

A differenza di altri programmi, una volta conclusa la simulazione è possibile esaminare dal browser specifici elementi dell'edificio e comprenderne le proprietà, senza dover tornare al modello per capire esattamente quale sia la superficie in questione.

Le informazioni vengono presentate con una grafica più intuitiva e di impatto, tuttavia essendo prodotto dalla stessa casa informatica dei due software precedentemente illustrati, anche Insight 360 presenta le stesse limitazioni.

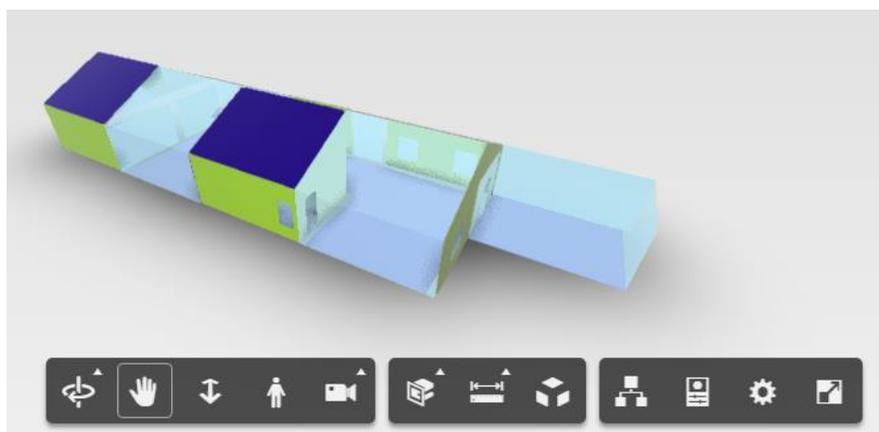


Fig. 43: Rappresentazione assometrica della struttura in cui sono evidenziati i locali e le zone per il calcolo del comportamento dell'edificio.

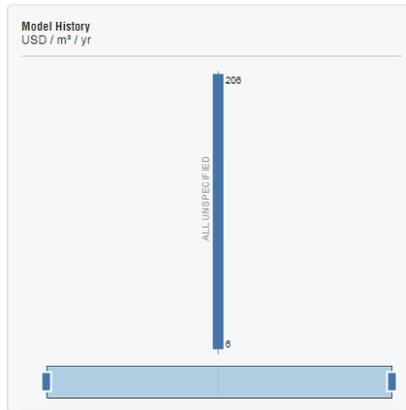
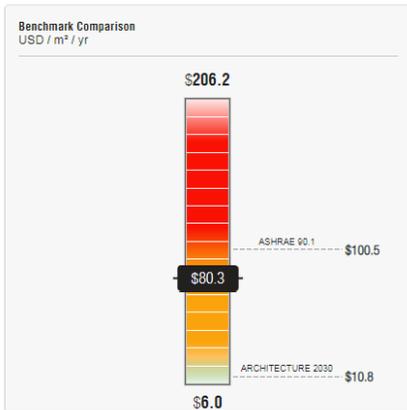


Fig. 44-48: Alcuni degli output grafici relativi al comportamento energetico della struttura.

Building Orientation

Rotates a building clockwise from 0 degrees, e.g. 90 degrees rotates the North side of the building to face East.

Current Setting:
270 - 135

WWR - Southern Walls

Window-Wall-Ratio (glazing area / gross wall area) interacts with window properties to impact daylighting, heating & cooling.

Current Setting:
95% - 0%

Window Shades - South

Shades can reduce HVAC energy use. The impact depends on other factors, such as window size and solar heat gain properties.

Current Setting:
BIM - 2/3 Win Height

Window Glass - South

Glass properties control the amount of daylight, heat transfer & solar heat gain into the building, along with other factors.

Current Setting:
Sgl Clr - Trp LoE

Come si può notare dalle immagini di seguito riportate, la modifica degli elementi vetrati è possibile solo all'interno di alcune soluzioni generiche proposte dal motore di calcolo, rendendo limitativo e poco efficace il suo utilizzo a uno stato avanzato di definizione dei dettagli del progetto.

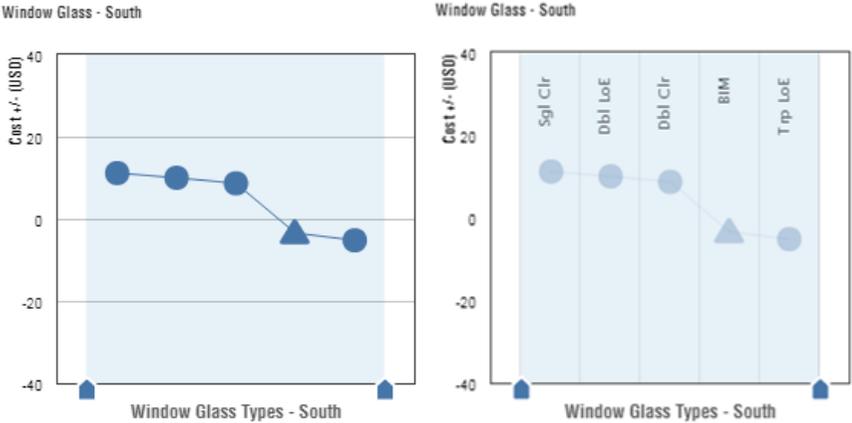


Fig. 49: Grafico relativo al rapporto tra costi e consumi e la tipologia di vetro di progetto.

EDILCLIMA

Edilclima, basato sulla normativa nazionale, costituisce uno dei motori di calcolo tradizionali maggiormente affermatosi nel panorama italiano. Grazie ai recenti sviluppi tecnologici è disponibile anche il plug-in per Revit "EC770 Integrated Technical Design for Revit", che permette l'integrazione della progettazione architettonica-strutturale e della progettazione termotecnica-impiantistica¹⁹.

Comune rispetto al programma tradizionale è la correddazione da archivi di supporto esaurienti e modificabili dall'utente che permettono una compilazione particolarmente agevole e semplificata delle varie parti del progetto da esportare²⁰:

- l'archivio dei dati climatici degli 8000 comuni d'Italia: temperature esterne medie mensili, irradianze solari e pressioni di vapore (secondo le norme UNI 10349: 2016);
- l'archivio dei materiali edili secondo UNI 10351, UNI 10355 e UNI EN ISO 10456 contenente più di 1000 codici;
- l'archivio completo dei ponti termici lineari secondo UNI EN ISO 14683:2009 con disegni schematici atti a facilitarne la scelta.

All'avvio del programma, per poter procedere con le impostazioni successive bisogna indicare nuovamente le zone e quali locali vi appartengono.

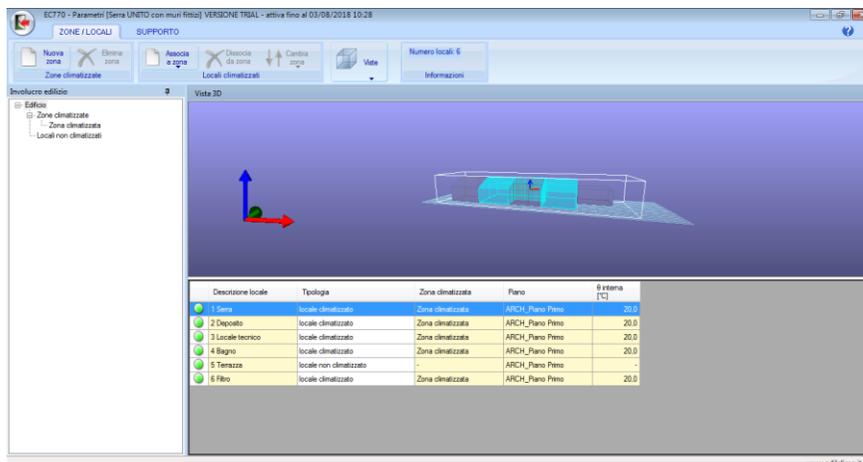


Fig. 50: Passaggio significativo per il corretto utilizzo del plug-in.

La struttura modulare del plug-in consente di specificare in pochi passaggi tutti i dati necessari per la caratterizzazione termica dell'edificio, disegnato in un modello parametrico Revit. Poiché il software si basa su una libreria specifica di materiali è obbligatorio riassegnare agli stessi impostati su Revit il corrispondente presente all'interno della libreria di Edilclima. Ciò nonostante quello che può sembrare un difetto risulta essere un vantaggio nel momento in cui sia necessario sopperire ad alcune mancanze e limiti riscontrati precedentemente, essendo la libreria dei materiali del programma editabile in tutte le sue specifiche.

EC770 (Senza UNITO con muri fittizi) VERSIONE TRIAL - attiva fino al 03/06/2018 10:28

FILE STRUMENTI SUPPORTO ASSOCIA MATERIALI

Comandi: Associa Carica Salva Gestione associazioni

Materiale Fittizi	Spessore [mm]	Strutture utilizzate	Codice	Materiale Ediclimate
Acustico	27	M3		
Abete	25	M2, S2		
Abete	20	M3		
Abete	15	P1		
Barriera al vapore	1	M3		
Calcestruzzo - Leggero	80	P1		
Finitura - Bianca	15	M1, M13		
Gesso rinforzato con fibra di vetro	15	M1, M0, M13, M14		
Infisso - Soglia	435	P2		
Isolamento rigido	140	P1		
LANA DI ROCCIA	50	M1, M3, M0, M13, M14		
LANA DI ROCCIA	30	M3		
Legno lamellare incollato	200	P1		

Barriera al vapore	Calcestruzzi	Intonaci	Isolanti	Latture	Soleite	Voti	Pannelli	Intersopadri
Topologia materiale								
Barriera al vapore								
Impermeabilizzazioni								
Impermeabilizzazioni in bitume A-B ISOLANTI								

Codice	Descrizione	Sp	M.V.	Cond	R.V.	C.T.	Nome
•101	Barriera vapore in bitume puro	0	1050	0.17	50000		1 UNI EN ISO
•102	Barriera vapore in carta o cartone	0	1100	0.23	2500		1 UNI 10351 - ...
•104	Barriera vapore in bitume febro. flo...	0	1100	0.23	50000		1 UNI EN ISO
•106	Barriera vapore foglio di alluminio (...)	0	2700	220	9999999	0.88	UNI 10351 - ...
•105	Barriera vapore in fogli di P.V.C.	0	1300	0.16	50000	0.9	UNI EN ISO
•110	Barriera vapore in fogli di polietilene	0	800	0.33	100000	2.2	UNI EN ISO
•111	Barriera vapore in fogli di polietilene	0	980	0.5	100000	1.8	UNI EN ISO

www.ediclima.it

Fig. 51-52: Passaggi significativi nella definizione dell'edificio.

EC770 (Senza UNITO con muri fittizi) VERSIONE TRIAL - attiva fino al 03/06/2018 10:28

FILE STRUMENTI SUPPORTO ASSOCIA MATERIALI

Comandi: Associa Carica Salva Gestione associazioni

Materiale Fittizi	Spessore [mm]	Strutture utilizzate	Codice	Materiale Ediclimate
Acustico	50	M0, M0	•1101	Legno di abete-fusso prepressi - alle fibre
Gesso rinforzato con fibra di vetro	15	M1, M0, M13, M14	•12401	Cartongesso 9.5 mm (per THERMOGES)
Finitura - Bianca	15	M1, M13	•1001	Intonaco isolante di peso
Rivestimento verticale - Doghe	15	M1, M13	•1101	Legno di abete fusso prepressi - alle fibre
Telaso cabotizzato internamente	140	M1, M2, M3, S2, M0, M13, M14	•718	Pannello in lana di roccia
LANA DI ROCCIA	50	M1, M3, M0, M13, M14	•718	Pannello in lana di roccia
Pannello a scaglie orientate	18	M2, M3, S2	•1140	Pannello in tavole a fibre orientate
Abete	25	M2, S2	•1101	Legno di abete fusso prepressi - alle fibre
Rivestimento verticale - Doghe	20	M3	•1101	Legno di abete fusso prepressi - alle fibre
Abete	20	M3	•1101	Legno di abete fusso prepressi - alle fibre
Barriera al vapore	1	M3	•101	Barriera vapore in bitume puro
Pannello a scaglie orientate	25	M3	•1140	Pannello in tavole a fibre orientate
LANA DI ROCCIA	30	M3	•718	Pannello in lana di roccia
membrana trasparente	1	M3	•805	Impermeabilizzazione in cartone catra.
Abete	15	P1	•1101	Legno di abete fusso prepressi - alle fibre
Isolamento rigido	140	P1	•501	P.V.C. espanso rigido in lattice
Legno lamellare incollato	200	P1	•1119	Pannelli di trucchi di legno prepressi
Calcestruzzo - Leggero	80	P1	•2402	Massetto spartitore in calcestruzzo con...
Infisso - Soglia	435	P2	•1101	Legno di abete fusso prepressi - alle fibre

Barriera al vapore	Calcestruzzi	Intonaci	Isolanti	Latture	Soleite	Voti	Pannelli	Intersopadri
Topologia materiale								
Espanso in PVC e in PE								
Fibre di vetro								
Fibra minerali								

Codice	Descrizione	Sp	M.V.	Cond	R.V.	C.T.	Nome
•718	Pannello in lana di roccia	0	40	0.035	1	1.03	UNI 10351 - ...
•719	Pannello in lana di roccia	0	70	0.035	1	1.03	UNI 10351 - ...
•720	Pannello in lana di roccia	0	100	0.035	1	1.03	UNI 10351 - ...

www.ediclima.it

A differenza di altri motori di calcolo, vengono evidenziate le specifiche verifiche termoigrometriche di condensa superficiale e interstiziale relative a ogni struttura utilizzata nel progetto, rappresentate sia in forma tabellare che grafica (diagrammi di Glaser).

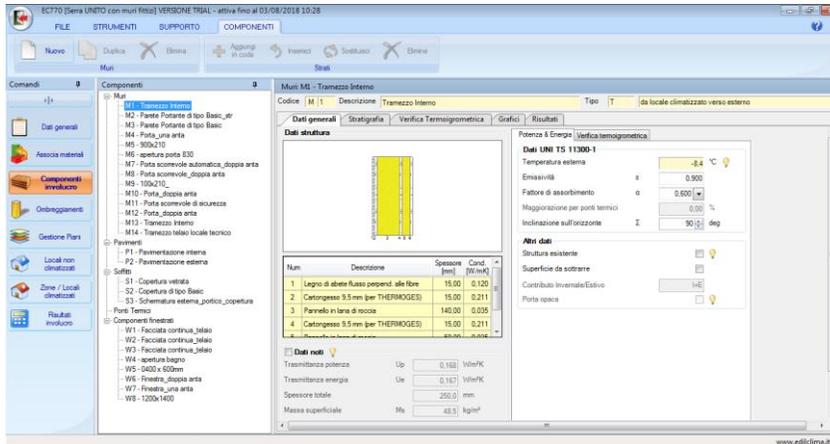


Fig. 53: Esempio di definizione stratigrafica di un componente dell'involucro.

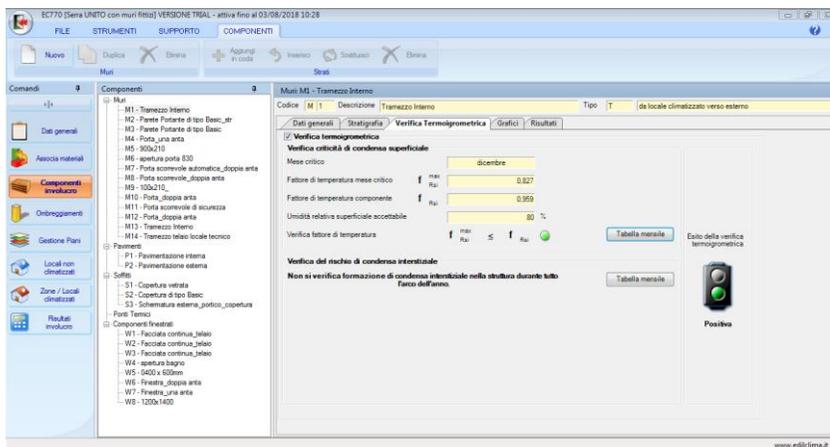


Fig. 54: Esempio di verifica del comportamento termo-igrometrico del componente dell'involucro presentato nella figura precedente.

Procedendo poi nella compilazione di tutte le voci mancanti, seguendo l'ordine modulare della struttura del software si può leggere all'interno dei risultati del calcolo il fabbisogno termico dell'edificio legato alla potenza invernale richiesta.

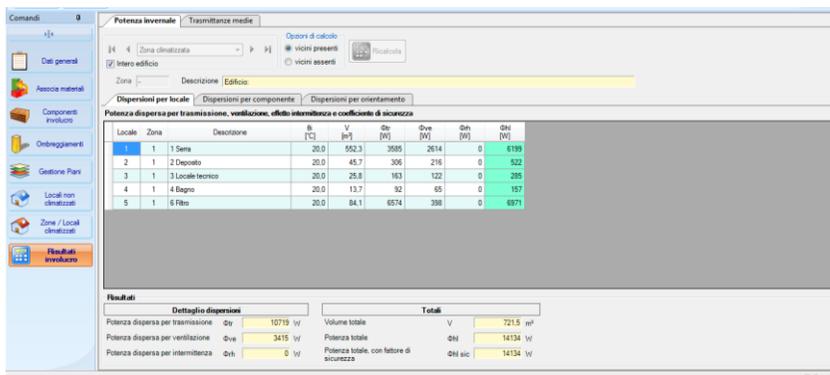


Fig. 55: Interfaccia dei risultati disponibili.

2.3 SCELTA DELL'IMPIANTO

È stato possibile dedurre una tipologia impiantistica idonea al progetto, essendo prevista una verifica ed un'analisi dettagliata del comportamento dell'edificio.

La soluzione è stata orientata alla realizzazione di un impianto HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) alimentato da una pompa di calore aria-acqua per la climatizzazione invernale e il raffrescamento estivo.

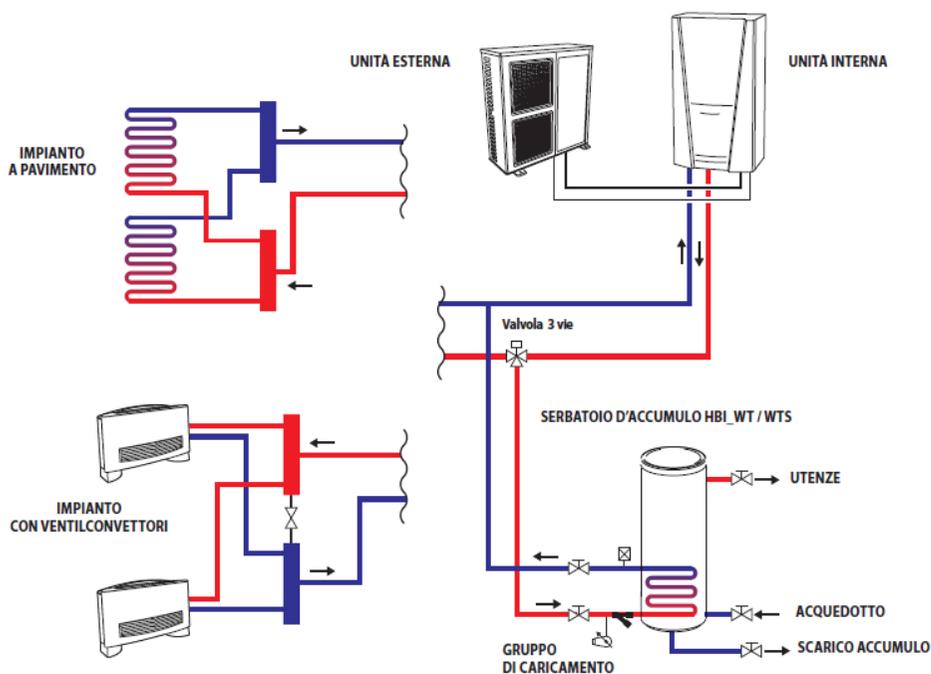


Fig. 56: Schema del funzionamento del circuito relativo alla pompa di calore.

Nello specifico è stata presa come riferimento dimensionale e prestazionale la pompa di calore AERMEC, HSI Pompa di calore reversibile inverter, Aria/Acqua di tipo Split per

Riscaldamento, Raffreddamento e produzione Acqua Calda Sanitaria.



Fig. 57: Immagine ricavata dalla scheda tecnica del prodotto AERMEC.

Poiché il sistema può essere installato in impianti con qualsiasi terminale idronico, sono stati previsti come terminali dei convettori a pavimento per riscaldamento e raffreddamento, progettati appunto per il riscaldamento ed il raffrescamento secondario, durante la stagione estiva, per l'installazione nei locali ove sia richiesto di rinfrescare zone nelle immediate vicinanze di fonti di calore (per esempio irraggiamento solare attraverso le vetrate) e per prevenire l'aumento della temperatura ambiente.

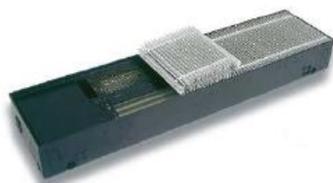


Fig. 58: Immagine ricavata dalla scheda tecnica del prodotto di riferimento.

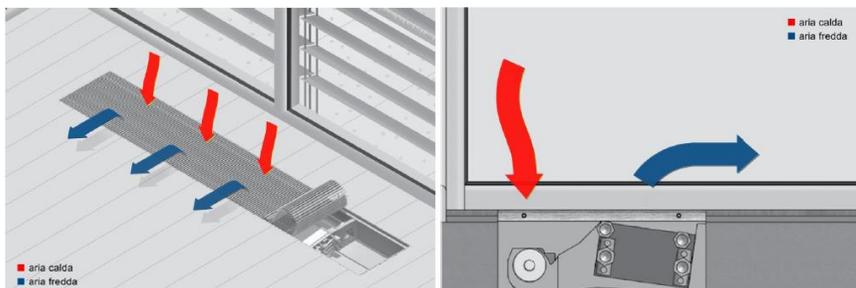


Fig. 59: Schema del funzionamento del convettore a pavimento per il raffrescamento.

L'impianto di climatizzazione viene accompagnato inoltre da un accumulatore per acqua refrigerata con lo scopo di aumentare l'inerzia dell'impianto di condizionamento e di minimizzarne il numero di avviamenti orari del gruppo frigorifero a salvaguardia della durata dello stesso e minor consumo elettrico.

Infine, trattandosi di una struttura ospedaliera è previsto anche un sistema di ventilazione meccanica e di recupero del calore, con riferimento alle specifiche tecniche di un'unità prodotta dalla ditta locale AERMEC (nello specifico il modello TRS).

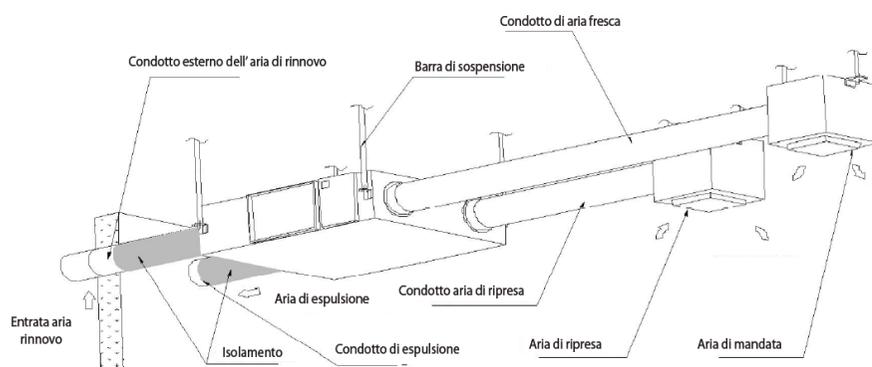


Fig. 60: Immagine sulla composizione di un impianto per la ventilazione e recupero di calore.

Figura 60

2.3.1 Il modello MEP

Quando ci si avvicina al disegno BIM degli impianti ci si deve interfacciare con quello che viene definito modello MEP, come spiegato nel precedente paragrafo “1.2.3 Le discipline del BIM”.

Il modello è caratterizzato da un foglio di disegno in cui le proprietà del browser di progetto si differenziano da quelle di un modello architettonico o strutturale, essendo suddiviso per discipline, prima che per livelli e tipologie di vista.

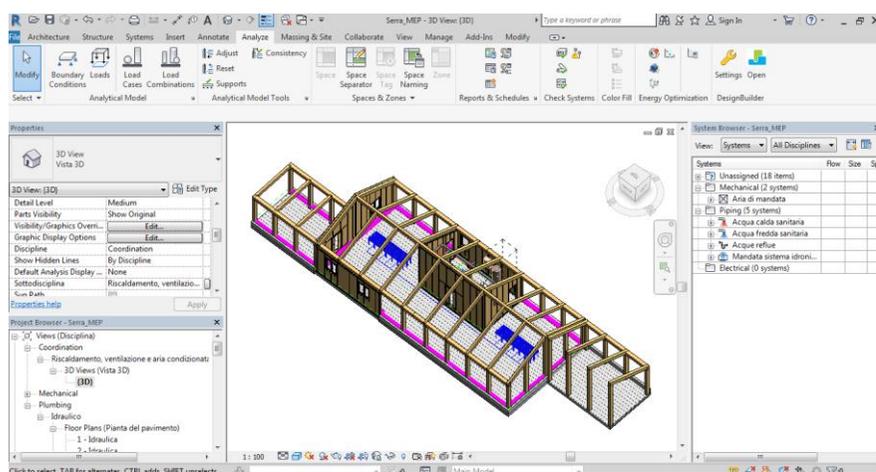


Fig. 61: Interfaccia di un modello di disegno MEP in Revit.

Trattandosi di un'area di lavoro costituita da modelli federati che seguono le regole di condivisione illustrate precedentemente, il nuovo modello deve rispettare le coordinate di progetto. Si procede innanzitutto all'acquisizione delle coordinate dal modello federato della Serra, per entrambi i sistemi di organizzazione dei vari modelli di progetto.

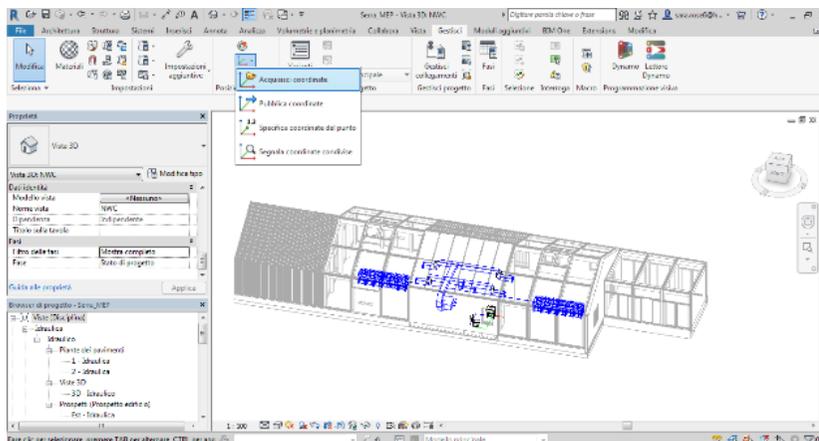


Fig. 62: Passaggi rilevanti per l'acquisizione delle coordinate.

Particolare attenzione è stata riposta nella modellazione delle fioriere presenti all'interno della serra, in quanto esse non costituiscono un comune elemento di arredo. Oltre a essere state progettate fisse in modo da dividere visivamente lo spazio in altri laterali di dimensioni più contenute, funzionali per l'ottenimento di maggiore privacy e tranquillità durante le visite dei parenti, esse possono essere utilizzate per la terapia e lo svago del paziente, migliorandone le condizioni di degenza.

Per tale ragione è stata creata una famiglia MEP specifica, in cui le dimensioni del vaso rispondono alle esigenze ergonomiche determinate dalle varie condizioni dei pazienti della struttura, rendendo possibile il loro utilizzo anche dai portatori di handicap su sedia a rotelle. In particolare, l'elemento si differenzia da un comune componente di arredo essendo caratterizzato dalla presenza di un connettore, elemento chiave nella modellazione MEP.

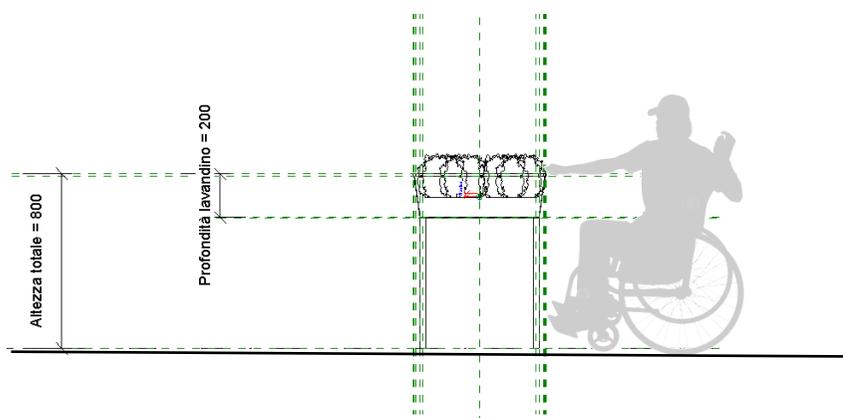


Fig. 63: Immagine esemplificativa del disegno e progetto delle fioriere presenti.

Solamente grazie all'inserimento di tali specifici connettori è possibile andare a definire e creare il sistema corrispondente, in modo da poter proseguire con le varie analisi richieste. Il sistema di irrigazione automatico viene integrato nel sistema idrico-sanitario che viene così rappresentato:

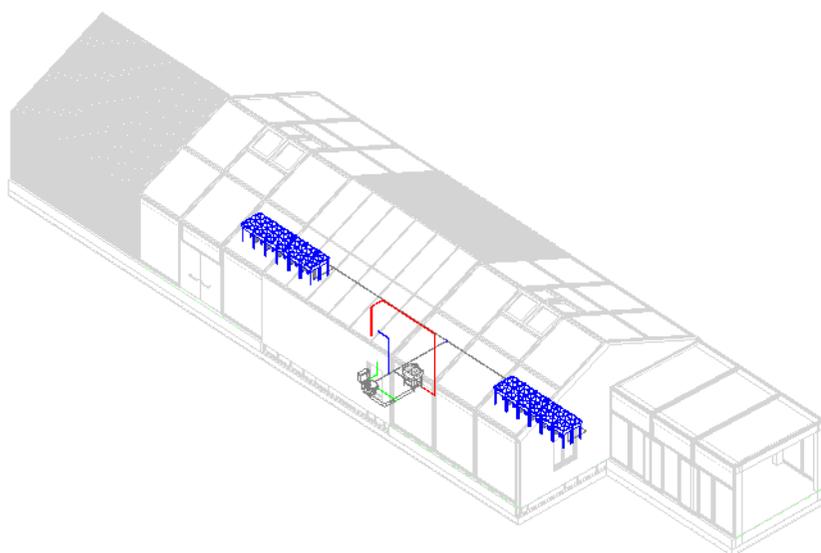


Fig. 64: Impianto idrico-sanitario.

Analogamente, anche per il disegno degli apparecchi degli impianti di climatizzazione e ventilazione sono state utilizzate

famiglie presenti nella libreria Revit o scaricate dai siti della casa produttrice, andando invece a crearne di specifiche laddove necessario.

Gli impianti risultano modellati globalmente come illustrato nelle immagini seguenti.

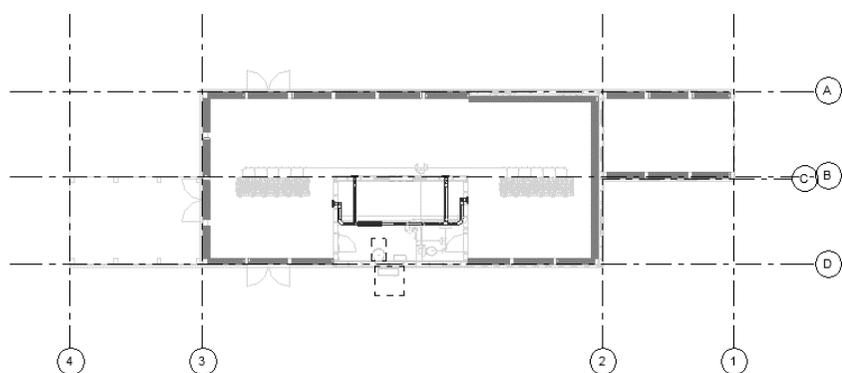


Fig. 65: Disegno in pianta degli impianti di climatizzazione, ventilazione e idrico-sanitario.

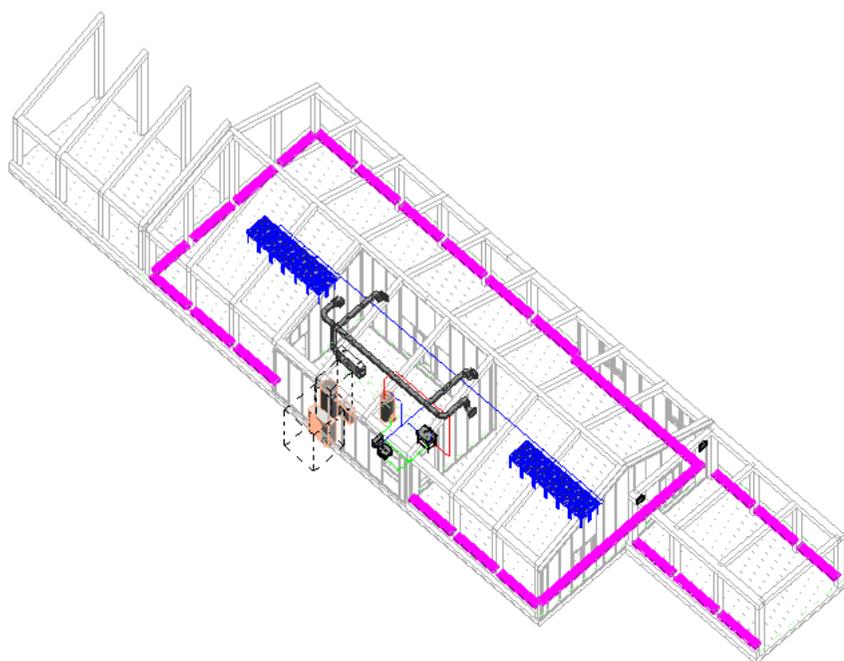


Fig. 66: Disegno assometrico degli impianti di climatizzazione, ventilazione e idrico-sanitario.

2.4 CLASH DETECTION

La metodologia BIM, come già accennato, permette di controllare in fase preliminare aspetti del processo di progettazione che con la metodologia tradizionale possono essere individuati e investigati solo nelle fasi successive.

Grazie al coordinamento tra le diverse discipline è quindi possibile svolgere un'analisi delle interferenze, comunemente chiamata Clash Detection, diminuendo così l'aumento dei costi ed il rischio di ritardi dovuti a eventuali modifiche sorte in cantiere. Questa analisi viene divisa in tre principali tipologie di interferenze:

- Hard clash:
- Soft clash:
- Workflow o 4D clash

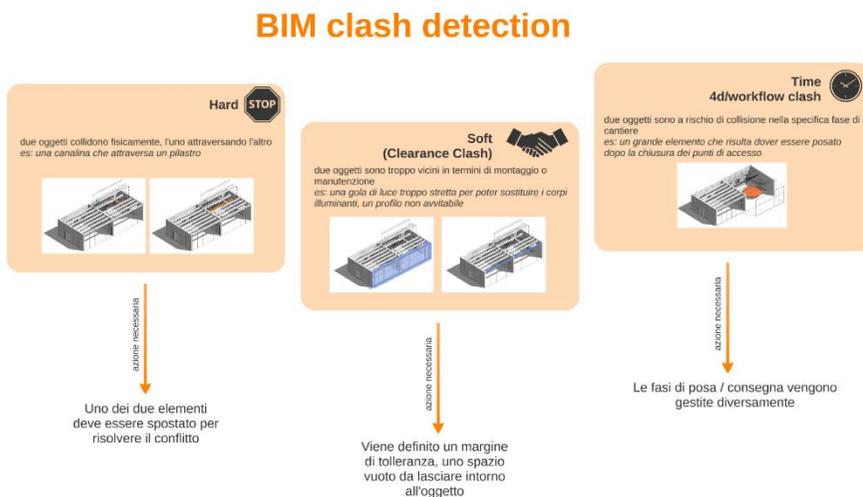


Fig. 67: Schema riassuntivo delle tre tipologie di clash detection.

Fonte:
<http://www.shelidon.it/?p=2741>

Nel seguente lavoro di tesi vengono analizzate e verificate esclusivamente le interferenze di collisione di tipo fisico (Hard Clash) e nella specifica fase di cantiere (Time Clash).

2.4.1 Hard clash

Per effettuare l'analisi delle interferenze sono disponibili vari programmi, tra cui è stato scelto il software Naviswork, prodotto da Autodesk, che consente un'interoperabilità tra i due programmi molto efficace, potendo esportare direttamente da Revit tanti file di estensione .nwc quanti desiderati. Ogni file .nwc corrisponde infatti a una sola vista 3D presente in Revit in cui vengono isolati gli elementi di interesse per la verifica. Nel caso specifico l'obiettivo di una prima analisi delle interferenze è la cosiddetta hard clash, volta a verificare la corretta intersezione dei componenti tra di loro. Gli impianti, raggruppati in un'unica vista, sono stati analizzati in relazione al progetto architettonico e strutturale per controllare l'effettiva assenza di intersezioni dei tubi e dei condotti con gli elementi strutturali.

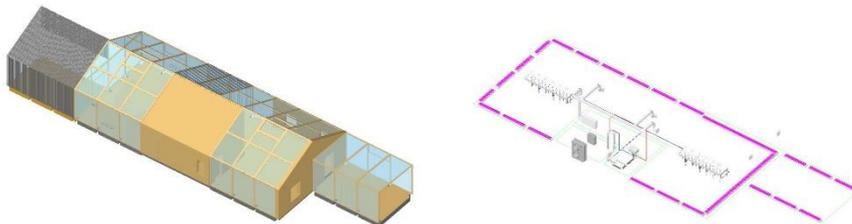


Fig. 68: Rappresentazioni assonometriche del progetto suddiviso in modello architettonico e strutturale e modello impiantistico.

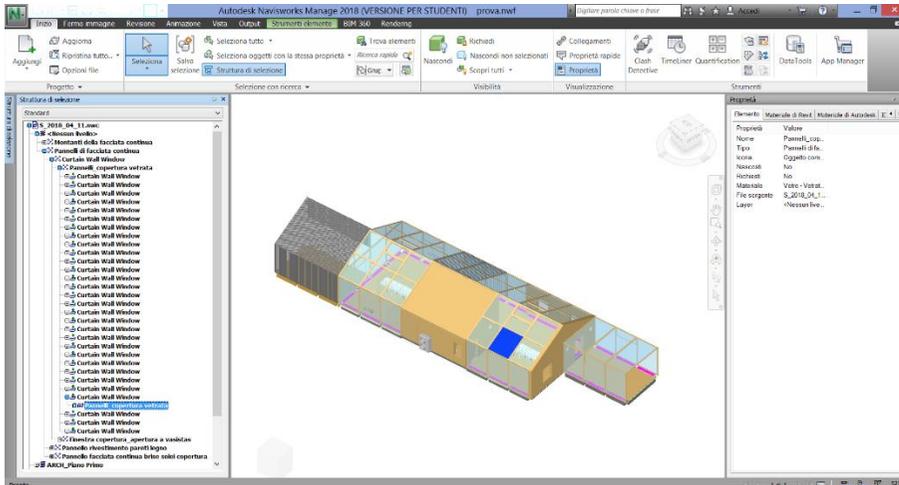


Fig. 69: Interfaccia del programma Naviswork per avviare la clash detective.

Una volta controllata la corretta corrispondenza degli elementi di progetto, è possibile avviare l'analisi delle interferenze tramite l'apposito comando. Di seguito vengono evidenziati alcuni fotogrammi riportanti alcuni accorgimenti necessari prima dell'avvio della simulazione.

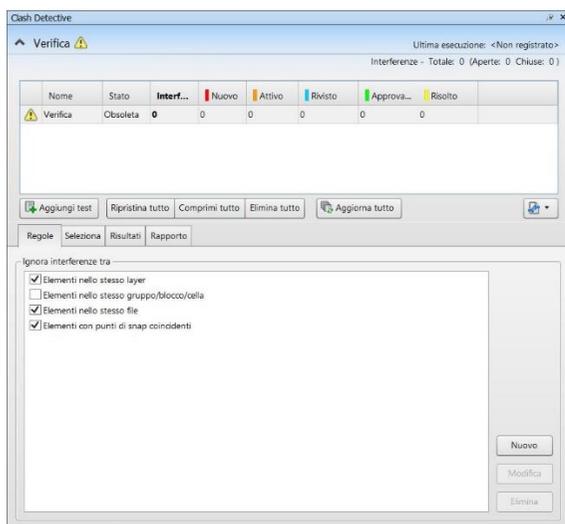


Fig. 70: Schermata di impostazioni del test di clash detective.

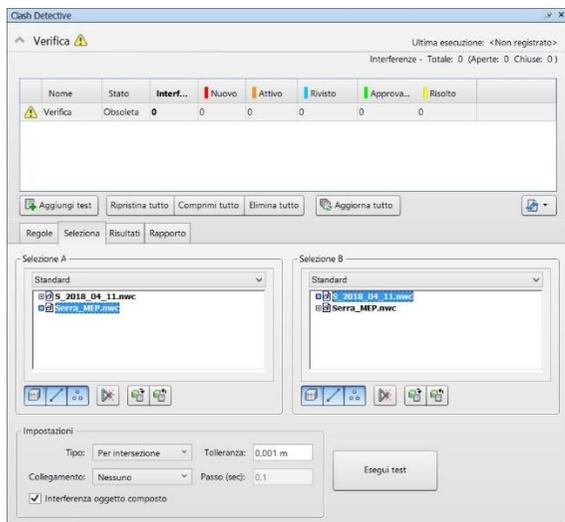


Fig. 71: Passaggio per la definizione della clash detection.

Considerando tali impostazioni e regole di base, il test produrrà come risultato un numero di interferenze nettamente maggiore a quelle che possono essere considerate interferenze effettive. Vengono infatti segnalati tutti gli elementi che si intersecano tra loro, come i tubi dell'impianto idrico-sanitario, per cui è necessario forare il muro interessato. Questo tipo di interferenze risulta comunque utile se evidenziato poiché nel report emergono dati tecnici come i livelli di quotatura dell'interferenza, costituendo uno strumento utile di verifica per la corretta realizzazione e posa dei vari elementi.

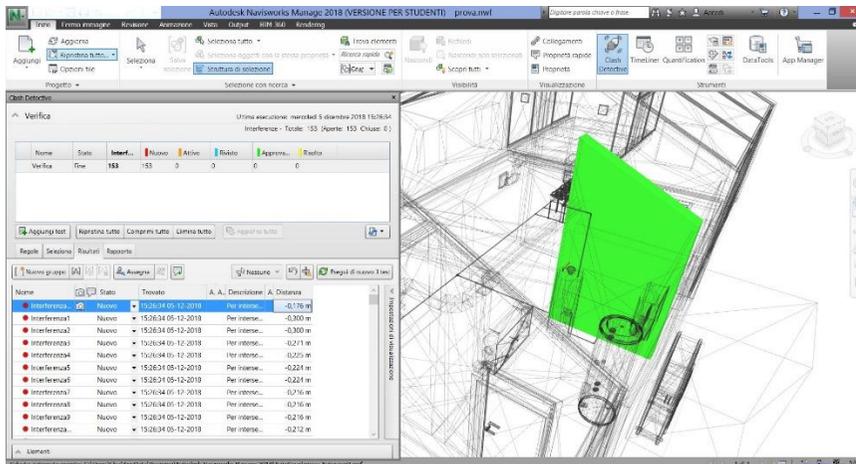


Fig. 72: Visualizzazione esempio di una delle interferenze riscontrate.

Verifica Interferenza

Tolleranza 0.001m
Totale 153
Nuovo 153
Attivo 0
Rivista 0
Approvata 0
Risolta 0
Tipo Per intersezione
Stato OK

	Nome Interferenza12 Distanza -0.176m Descrizione Per intersezione Stato Nuovo Punto di interferenza -33.180m, -40.217m, 1.491m Data creazione 2018/12/5 14:26
Elemento 1	
ID elemento	960324
Layer	Livello 1
Elemento Nome	Pipe Types
Elemento Tipo	Linea
Elemento 2	
ID elemento	355349
Layer	ARCH_Piano Primo
Elemento Nome	Gesso rinforzato con fibra di vetro
Elemento Tipo	Solido

Fig. 73: Report esempio di una delle interferenze riscontrate.

2.4.2 Workflow clash

Per questa fase dello sviluppo del progetto è doveroso ricordare che la progettazione nel dettaglio del sistema impiantistico è avvenuta in un momento successivo alla creazione di modelli architettonico e strutturali. Per tale motivo occorre confrontarsi con il lavoro di tesi prodotto dalla collega Sara Rosato, già citata precedentemente, che ha indagato le potenzialità del BIM nell'ambito del Construction Management analizzando le tempistiche legate alla realizzazione della struttura. In particolare per quanto concerne l'installazione del sistema impiantistico, non essendo tale aspetto da approfondire nel lavoro a cura di Sara Rosato precedentemente nominato, questa era stata considerata in un'unica fase che, a uno stadio avanzato della progettazione presenta dei limiti.

L'installazione degli impiantiti infatti non può essere considerata successiva alla realizzazione della struttura e alla posa delle finiture, ma va integrata suddividendo almeno globalmente la fase di lavoro in tre sottofasi quali:

1. installazione dei terminali a pavimento;
2. posa dei tubi e dei condotti all'interno del telaio delle pareti divisorie;
3. installazione dei restanti terminali e sorgenti nei vari locali.

Il modello parametrico MEP è stato organizzato secondo le fasi di lavorazione sopra citate, con riferimento alle impostazioni dei dati definite nei modelli architettonici e strutturali; attenzione

fondamentale per permettere la corretta interazione dei tre modelli di progetto e la coerenza delle informazioni riportate.

È stato dunque necessario modificare i file di input redatti precedentemente andando ad apportare un semplice cambiamento dei codici assegnati, legati alla definizione della Work Breakdown Structure (WBS), ovvero “struttura di scomposizione del lavoro”. Tale struttura risulta necessaria per la pianificazione e gestione del lavoro al fine di una programmazione delle attività di cantiere efficiente.

Poiché lo studio della metodologia per il Construction Management non è un obiettivo del presente lavoro di tesi, per la spiegazione in dettaglio dei vari passaggi necessari alla corretta definizione del modello si rimanda il lettore alla consultazione della tesi “BIM per il Construction Management: metodologia applicata al progetto di una serra bioclimatica al complesso del Trompone”, sviluppata all’interno del gruppo di lavoro BIM for Health.

2.5 BIM E BEM

L'acronimo BEM, Building Energy Model (o Modeling, analogamente alle diverse accezioni dell'acronimo BIM illustrate nel paragrafo 1.2), viene usato per indicare l'approccio all'analisi energetica in ambito BIM.

Il Building Energy Model nasce quindi dall'esigenza della creazione di un modello che racchiuda tutti i dati di input necessari al motore di calcolo per condurre l'analisi energetica, quali le condizioni climatiche di contorno, le caratteristiche termo-fisiche dell'involucro dell'edificio, gli apporti solari gratuiti, le attrezzature presenti, l'occupazione interna e gli impianti di riscaldamento, raffreddamento, ventilazione.

Come attestato in letteratura, i modelli BIM e BEM, entrambi parametrici, elaborano e gestiscono i dati in modo diverso, creando una discontinuità di informazioni a cui generalmente bisogna supplire con un'ulteriore modellazione o inserimento delle informazioni mancanti. Questo "gap"²¹ non deve essere però inteso come una mancanza di efficienza della metodologia rispetto ad una tradizionale, poiché i risultati ottenibili portano a una conoscenza ed ad una gestione finale del progetto, e dei suoi scenari possibili, maggiore rispetto ad un approccio classico, mantenendone comunque inferiori le tempistiche di elaborazione.

La disponibilità di una grande quantità di informazioni permette di condurre analisi in regime dinamico, basandosi su equazioni e principi termodinamici, ottenendo delle

simulazioni in grado di stimare il comportamento termico dell'edificio, con intervalli temporali che possono arrivare all'ordine dei minuti.

2.6 SOFTWARE PRESENTI SUL MERCATO

La necessità di gestione della grande quantità di dati legati all'indagine del comportamento energetico dell'edificio ha spinto diverse case informatiche a produrre una varietà di software finalizzati a tale scopo.

Poiché, come evidenziato in precedenza, all'interno del software BIM Revit sono presenti forti limitazioni per un'analisi energetica di dettaglio, è stato necessario effettuare uno studio comparativo dei programmi di calcolo oggi presenti principalmente sul mercato italiano ed internazionale. Sulla base di analoghi studi presenti in letteratura e di presentazioni tecniche proposte dalle aziende, sono stati esaminati i programmi selezionati, cui è seguito un confronto critico ragionato sulle esigenze specifiche del progetto illustrato nel paragrafo successivo.

In ordine i software esaminati sono stati:

- Green Building Studio
- Energy Plus
- Design Builder
- Open Studio
- IES-VE
- Simergy
- Termus

GREEN BUILDING STUDIO

Autodesk Green Building Studio è il software di calcolo utilizzato da Energy Analysis for Autodesk Revit per stimare il consumo energetico e i costi operativi dell'edificio.

Utilizzando come base un modello di Revit, l'analisi energetica avviene grazie alla compressione del modello in un file di estensione .gbXML. Poiché la simulazione viene fatta nel sistema di condivisione online (cloud) insita in entrambi i programmi, le varie impostazioni di analisi energetica devono essere definite già nel modello Revit.²²

È importante sottolineare che a ogni simulazione energetica inviata a Green Building Studio vengono associati, attraverso un algoritmo basato sulle variabili energetiche, i risultati di altre 60 simulazioni alternative. Questo permette di poter valutare in modo semi-automatico la necessità o meno di apportare modifiche alle scelte iniziali, costituendo un grande vantaggio nella fase preliminare di progettazione.

ENERGY PLUS

EnergyPlus costituisce un motore di calcolo autonomo e open source per la simulazione termica in regime dinamico del sistema edificio-impianto.

Disponibile solo in lingua inglese, è stato sviluppato dal Dipartimento di Energia degli Stati Uniti (USDOE) come software di seconda generazione dopo il successo di altri software, quali BLAST (US Army Corps of Engineers e University of Illinois Champaign) e DOE-2 (USDOE e Lawrence Berkeley National Laboratory).²³

Analogamente ai software precedenti è possibile controllare una pluralità di variabili e modellare il sistema impiantistico relativo sia al riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, che illuminotecnico, intervenendo su molti parametri ad esso collegati.

Questo motore di calcolo legge i file di input in formato .idf, producendo file di output sotto forma di file di testo.

Non essendo molto intuitivo e semplice nell'inserimento dei dati, spesso viene utilizzato stante l'esistenza di programmi con interfacce grafiche esterne più user-friendly, come Design Builder.

DESIGN BUILDER

Come citato in precedenza, DesignBuilder è l'interfaccia grafica di EnergyPlus, con cui è possibile importare il modello BIM dell'edificio compresso in un file di estensione .gbXML, a cui corrispondono le caratteristiche fisiche e termiche (dimensioni, materiali, impianti termici, carichi termici) precedentemente definite e ancora editabili.

DesignBuilder è un software a pagamento, ma utilizzabile in versione gratuita per 30 giorni. Avendo come motore di calcolo EnergyPlus, ne mantiene le caratteristiche di analisi, fornendo una lettura semplificata dei parametri di input e degli output elaborati.²⁴

OPEN STUDIO

Open studio è un'altra interfaccia user friendly per il motore di calcolo EnergyPlus, disponibile gratuitamente come plug-in del programma di modellazione SketchUp. Basandosi su quest'ultimo, consente una modellazione della geometria dell'edificio più intuitiva rispetto ad altri strumenti, ma per le sue caratteristiche di impostazioni dei dati per il calcolo risulta essere di non facile intuizione.

Open Studio è pensato per permettere un'interoperabilità anche con motori di simulazione specifici come Radiance per l'illuminazione e CONTAM per i flussi d'aria.²⁵

IES-VE

Analogamente ai software già presentati, IES-VE (Integrated Environmental Solution – Virtual Environment) è un programma che permette di analizzare il consumo energetico, il comfort termo-igrometrico e le emissioni dell'edificio. Specifico, utilizzato soprattutto da ingegneri, offre analisi e report con un livello di informazioni dettagliato.²⁶

SIMERGY

Simergy consente di simulare, analizzare e ottimizzare le prestazioni dei progetti di edifici prima della loro costruzione. Viene utilizzato per ottimizzare l'efficienza energetica degli edifici, l'illuminazione diurna e il comfort,

nonché per valutare la conformità dei progetti a standard normativi di riferimento.

Simergy è dotato di una propria interfaccia grafica e funzionalità integrate con EnergyPlus, il principale motore di simulazione dinamico a costruzione completa, sviluppato dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti. Il software risulta facilmente utilizzabile, nonostante la modellizzazione geometrica appaia meno veloce e poco intuitiva. Sono disponibili l'importazione e l'esportazione del formato IFC.²⁷

Simergy è stato pensato come front-end di sviluppo del Building Energy Modeling (BEM) ed è stato progettato e sviluppato originariamente da un team pubblico/privato statunitense. Negli anni successivi Simergy è stata ampliata per diventare un framework per molti tipi di simulazione e analisi del modello di costruzione, in grado di ottenere simulazioni e costruire previsioni di energia in tempi contenuti.

I dati di Simergy sono organizzati in base al modo in cui gli utenti lavorano, in termini di progetti. All'interno di ciascun progetto, Simergy consente inoltre agli utenti di definire più alternative di progettazione e quindi di confrontare tra di loro i risultati di simulazione.²⁸ È dunque possibile:

- configurare i parametri di simulazione, le variabili di output, i formati di output;
- gestire qualsiasi numero di esecuzioni / risultati per ogni configurazione;

- utilizzare una design dashboard che permette la visualizzazione ad alto livello della completezza del modello;
- verificare, ottenere report e riparare il modello in seguito alla convalida di esso basata su regole.

TERMUS

TerMus è il software BIM per la certificazione energetica e la verifica delle prestazioni energetiche degli edifici.

In linea con quanto richiesto dal nuovo Codice degli appalti e dalle linee guida UNI 11337, TerMus Consente di importare ed esportare progetti in formato IFC; l'interscambio delle informazioni attraverso tale formato permette di costruire un Modello Informativo Energetico corrispondente al modello architettonico dell'edificio.²⁹

Con TerMus dai dati del progetto si ottengono automaticamente:

- il Modello energetico del sistema edificio-impianto (BEM- Building Energy Model)
- la Relazione tecnica di progetto Legge 10
- l'Attestato di Prestazione Energetica (A.P.E.)
- l'Attestato di Qualificazione Energetica (A.Q.E.)
- i Fascicoli di Schede Strutture (superfici opache, vetrate, ponti termici, vani zone, centrali termiche, ecc.)

La termografia 3D consente di capire quali sono i punti deboli della progettazione e di intervenire migliorando adeguatamente le performance. TerMus supporta le seguenti verifiche³⁰:

- calcolo dell'energia primaria rinnovabile e non rinnovabile e i relativi consumi;
- calcolo e verifica degli indici di prestazione energetica;
- calcolo del fabbisogno di acqua calda sanitaria e del fabbisogno energetico correlato;
- calcolo e verifica della trasmittanza termica periodica (UNI EN ISO 13786) e della massa superficiale;
- calcolo del rischio alla formazione di condensa (superficiale ed interstiziale);
- calcolo e verifica dei rendimenti degli impianti.

2.7 CRITERI DI SCELTA

Di fronte alla vasta disponibilità di software presenti sul mercato, di cui precedentemente si è voluto evidenziare quelli con maggior diffusione nel territorio italiano. Sulla base di studi analoghi presenti in letteratura^{31,32}, è stato necessario effettuare un confronto basato su alcune caratteristiche discriminanti quali:

- Modellazione: questo criterio vuole racchiudere al suo interno il livello di accuratezza nell'esportazione e importazione della geometria BIM tra software. Convenzionalmente viene indicato un valore compreso tra 1 e 5 considerando:
 - o 1: non è possibile importare un file BIM realizzato precedentemente in un altro software di modellazione
 - o 2: vengono importate solo le geometrie principali rappresentate come solidi geometrici semplici
 - o 3: il programma riconosce le geometrie dell'edificio con la presenza di "air gaps" e le condizioni climatiche a contorno, ma non mantiene le proprietà termiche dei materiali o non le rende editabili.
 - o 4: non vengono risolti totalmente i problemi legati agli "air gaps", ma oltre alla geometria dell'edificio e alle condizioni climatiche vengono importate anche le proprietà termo-

fisiche dei materiali e delle stratigrafie di progetto.

- o 5: vengono mantenuti nel dettaglio tutti gli elementi architettonici e strutturali del progetto con assenza di "air gaps", le condizioni climatiche e le proprietà termo-fisiche dei materiali e delle stratigrafie di progetto
- Impianto: data la complessità dei modelli parametrici sviluppati è stato necessario dividere l'aspetto impiantistico da quelli architettonico e strutturale. Infatti, tutti i componenti relativi alla modellazione MEP durante la fase di compressione del modello nei formati di scambio desiderati vengono persi, creando un gap di informazioni nella maggior parte dei casi. Si è voluto evidenziare questa problematica sottolineando il mantenimento o meno di tali dati.
- Input: elenco riassuntivo dei dati necessari per il calcolo dinamico
- Formato del file supportato: per evidenziare la struttura del file importato
- Output: elenco riassuntivo della tipologia dei documenti e delle informazioni estraibili dal software
- Skills: poiché molti software si equivalgono tra loro nella gestione degli input e degli output, questo criterio vuole riassumere il livello di intuitività o difficoltà nella gestione del programma basandosi sulle abilità richieste all'utente che si avvicina per la prima volta al loro utilizzo.

- Open Source: in relazione all'abilità richiesta all'utente è emersa la necessità di sottolineare la disponibilità gratuita o meno del programma in questione, potendo essa variare fino ad un periodo illimitato, nel caso questi sia open source.
- Plug- in per Revit: per sottolineare o meno la facile interoperabilità con il programma di modellazione utilizzato.
- Bidirezionalità: come intuibile dal nome, in questo criterio si è voluto riassumere l'investigazione legata alla possibilità di scambio di informazioni in modo bidirezionale tra i programmi

Programma	Modellazione	Impianto	Input	Formato file	Output	Skills	Open Source	Plug-in per Revit	Bidirezionalità
Green Building Studio	3	-	Dati climatici del sito, proprietà fisico termiche dei materiali e dell'involucro edilizio.	.gbXML	Analisi dei consumi e delle prestazioni energetiche, ventaglio di alternative per l'ottimizzazione dei risultati	soft	-	x	-
Open Studio	3	-	Dati climatici del sito, proprietà fisico termiche dei materiali e dell'involucro edilizio.	.gbXML .ifc	Analisi dei consumi e delle prestazioni energetiche, rappresentati in una grafica user-friendly	hard	x	-	-

Energy Plus	3	-	Dati climatici del sito, proprietà fisico termiche dei materiali e dell'involucro edilizio.	.ifc	Analisi di dettaglio elevato relative ai consumi e alle prestazioni energetiche in formato di editor di testo	hard	x	-	-
Design Builder	4	-	Dati climatici del sito, proprietà fisico termiche dei materiali e dell'involucro edilizio.	.gbXML	Analisi dei consumi e delle prestazioni energetiche, rappresentati in una grafica user-friendly	soft	-	x	-
IES- VE	3	-	Dati climatici del sito, proprietà fisico termiche dei materiali e dell'involucro edilizio.	.gbXML	Analisi dei consumi e delle prestazioni energetiche.	hard	-	-	-

Simergy	4	-	Dati climatici del sito, proprietà fisico termiche dei materiali e dell'involucro edilizio.	.gbXML .ifc	Analisi dei consumi e delle prestazioni energetiche.	medium	-	-	-
Termus	3	-	Dati climatici del sito, proprietà fisico termiche dei materiali e dell'involucro edilizio.	.ifc	Analisi dei consumi e delle prestazioni energetiche, e documenti per la certificazione in accordo con la normativa italiana	medium	-	-	-

Per rendere il confronto tra i programmi uniforme tra le varie caratteristiche qualitative e quantitative, sempre in relazione a studi analoghi presenti in letteratura, sono stati attribuiti a ogni parametro dei valori numerici simbolici:

- 0: ad indicarne l'assenza;
- 1: ad indicarne un livello basso;
- 2: ad indicarne un livello medio;
- 3: ad indicarne un livello alto.

In particolare i livelli associati vengono considerati secondo i seguenti ragionamenti:

- Modellazione: maggiore è il dettaglio del modello importato più alto è il livello;
- Impianto: poiché in tutti i software avviene una perdita dei dati relativi al sistema impiantistico, esso viene indicato come assente;
- Input: il livello viene considerato più o meno alto in base alla quantità e qualità di dati mantenuti;
- Output: ad una maggiore varietà di informazioni deducibili dalla simulazione effettuata corrisponde un livello maggiore;
- Abilità: maggiori sono le difficoltà per l'utente nell'utilizzo del programma, inferiore è il livello;
- Licenza: il livello dipende dalla disponibilità più o meno prolungata di uso gratuito del programma;
- Bidirezionalità: sempre assente.

È stato così possibile associare a ogni programma esaminato un punteggio numerico simbolico di confronto, dove la scelta migliore viene rappresentata dal valore complessivo più alto:

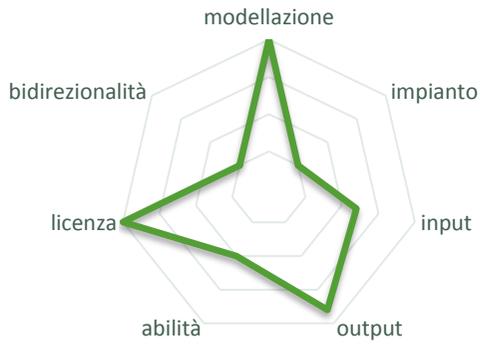
Programma	Modellazione	Impianto	Input	Output	Abilità	Licenza	Bidirezionalità	Totale
Green Building Studio	3	0	1,5	2,5	3	3	0	13
Open Studio	3	0	1,5	2,5	1	3	0	11

Energy Plus	0,5	0	1,5	2	0,5	3	0	7,5
Design Builder	3	0	2,5	3	3	2	0	13,5
IES-VE	1,5	0	1	2,5	1	1	0	7
Simergy	2	0	1,5	2,5	1	1	0	8
Termus	1,5	0	1	3	1	1	0	7,5

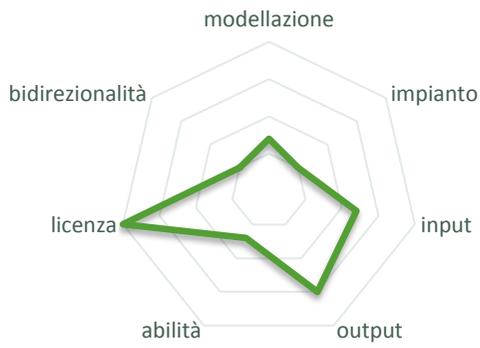
Inoltre, gli stessi criteri possono essere visualizzati in grafici esemplificativi per cui il software più adatto alle esigenze di progetto è rappresentato da quello il cui profilo si avvicina maggiormente all'ottagono maggiore (essendo 8 le caratteristiche discriminanti prese in considerazione).



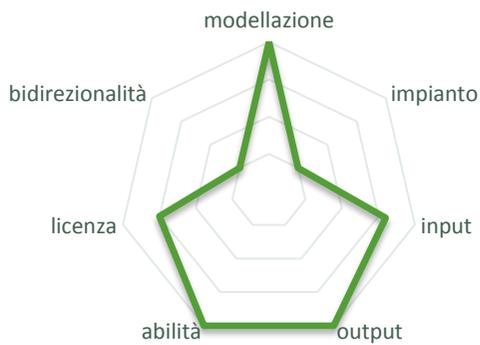
Open Studio

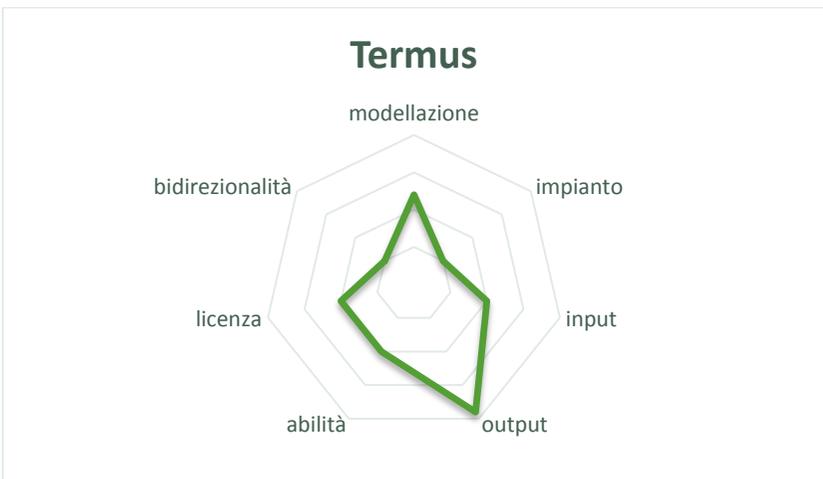
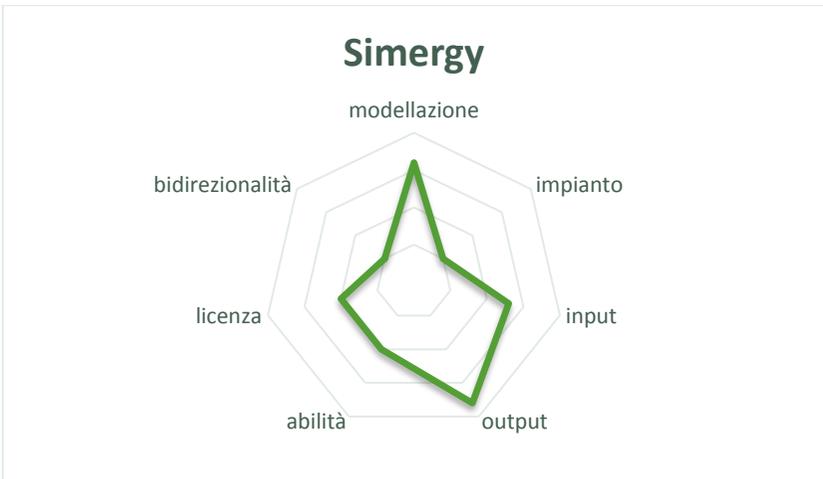


Energy Plus



Design Builder





2.8 DESIGN BUILDER

Selezionato come programma di calcolo Design Builder, viene ora illustrata la metodologia specifica legata alla creazione di un corretto modello BEM su cui eseguire la simulazione del comportamento termico dell'edificio.

È necessario specificare che per una corretta interoperabilità con Revit, entrambi i software devono essere installati nella versione inglese, in modo da mantenere una corrispondenza di linguaggi di lettura e codifica delle informazioni, in particolare relativamente alla definizione dei materiali e delle stratigrafie, poiché in lingua italiana, almeno apparentemente, non viene raggiunta la stessa uniformità dei dati.

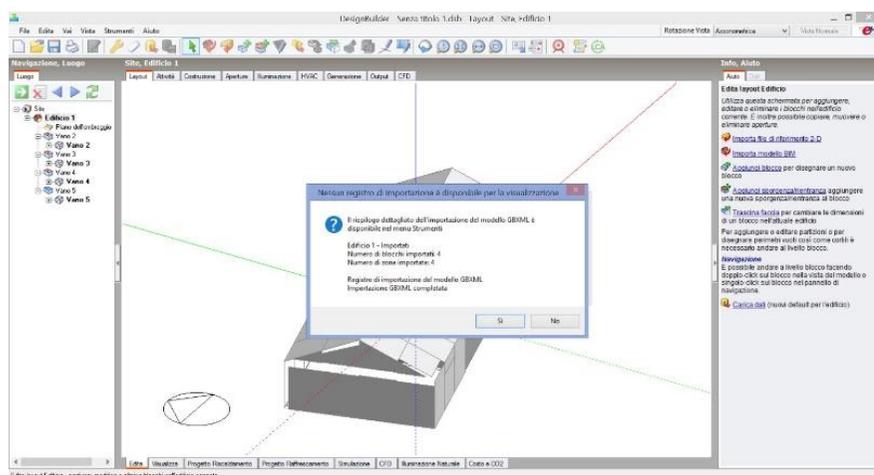


Fig. 74: Schermata iniziale del programma Design Builder una volta importato il file .gbXML.

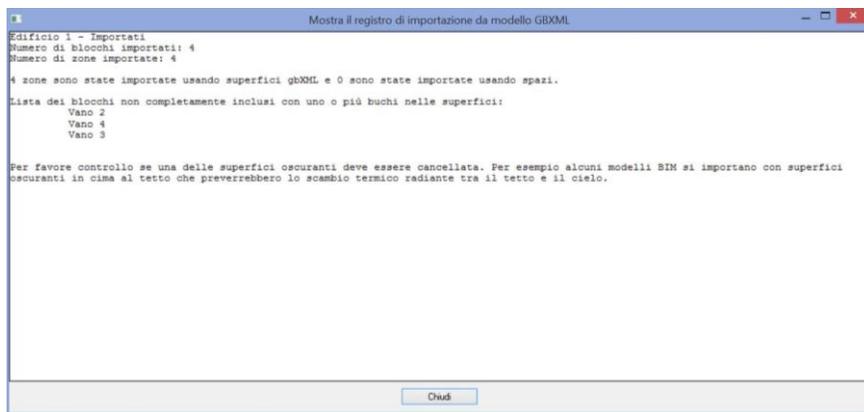


Fig. 75: Passaggio relativo all'importazione del file .gbXML.

Come si può infatti notare nelle immagini seguenti, nel momento in cui viene importato il file BIM vengono mantenute le informazioni relative alla stratigrafia e ai materiali, a cui corrisponde l'associazione automatica di essi come da progetto.

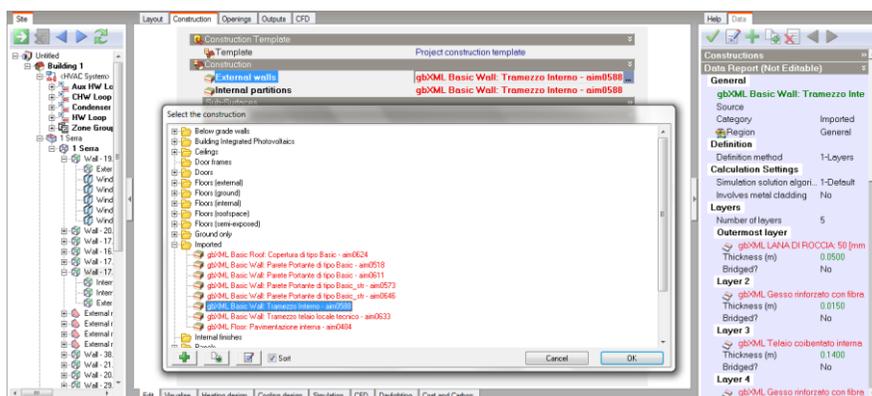


Fig. 76: Associazione automatica ai vari componenti della costruzione delle stratigrafie importate.

La possibilità di poter modificare la composizione di ogni elemento della costruzione permette di superare il limite riscontrato in Revit nella definizione delle caratteristiche fisico-termiche dell'involucro trasparente. Oltre ad offrire una maggiore varietà di soluzioni preimpostate, nell'editor dei materiali è possibile definire la tecnologia del vetro del componente secondo

le specifiche tecniche volute. Coerentemente con le scelte stratigrafiche concordate, il vetro viene così impostato:

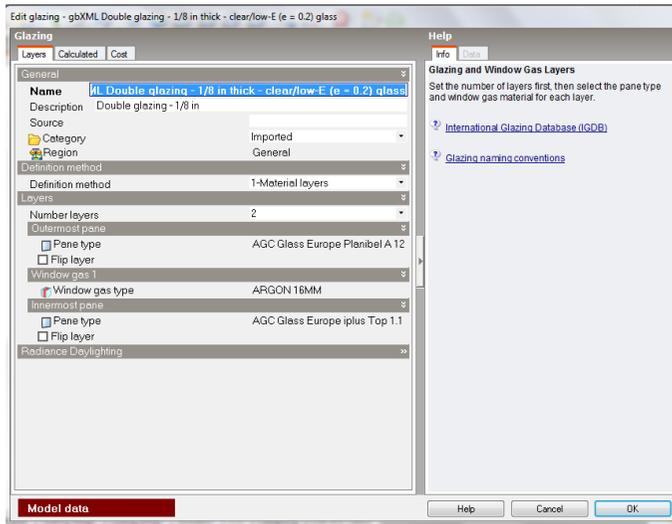


Fig. 77: Definizione della tipologia di vetri per l'involucro trasparente.

2.8.1 Perdita dei dati

Uno dei problemi principali che si riscontrano in seguito all'importazione del modello BIM in Design Builder, è dato dalla presenza di "air gaps", letteralmente definiti come un'apertura o uno spazio che contiene aria o ne consente il flusso, strettamente correlati al file di esportazione .gbXML.

Gli "air gaps" vengono riscontrati laddove le superfici analitiche, generate automaticamente da Revit durante la creazione del modello EAM e non editabili, non combaciano tra di loro.

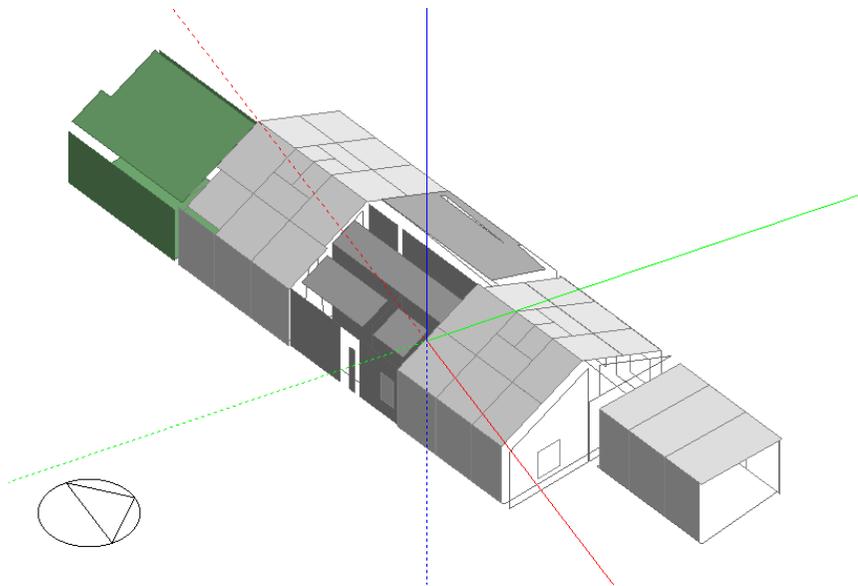


Fig. 78: Modello BEM in Design Builder.

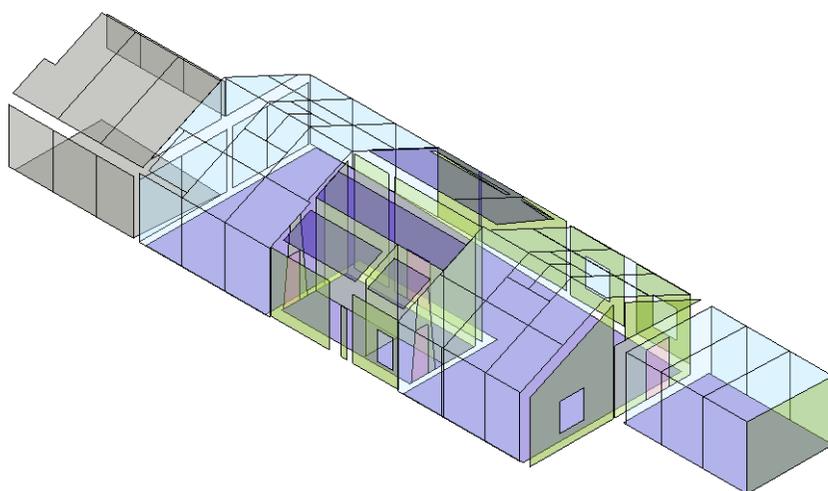


Fig. 79: Superfici analitiche del modello EAM in Revit.

Per ovviare a questo problema è necessario ricorrere a una rimodellazione locale di alcuni elementi del progetto, semplificandone la geometria.

Il problema non è però circoscritto alla modellazione, ma deriva anche dalla difficoltà di ottimizzazione del file, legato

alla sua tipologia di esportazione, ovvero se tramite vani o tramite locali. Benchè le informazioni di entrambe le modalità non presentino grandi differenze, si nota come l'accuratezza del modello geometrico cambi sensibilmente con i locali.

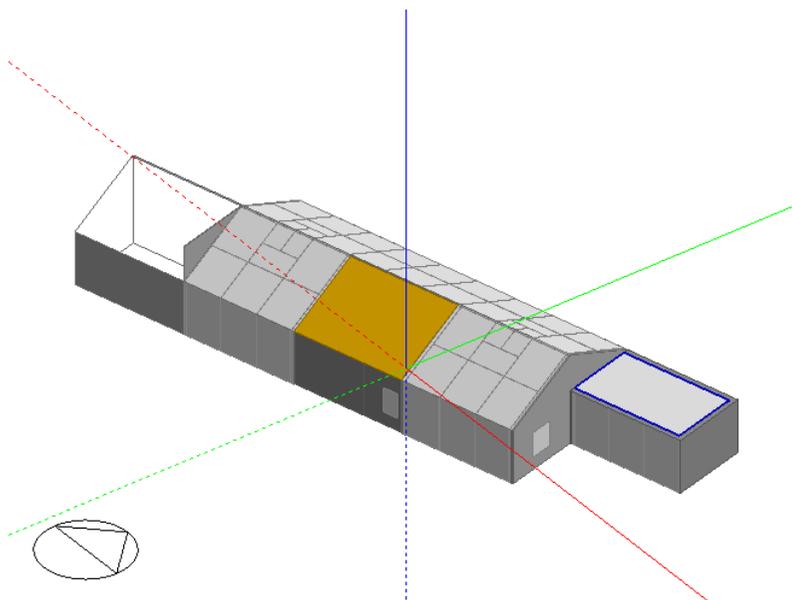


Fig. 80: Modello BEM in Design Builder in cui vengono risolti i problemi legati agli air gaps.

È necessario sottolineare che non esiste tutt'ora una modalità universale e definita per poter risolvere completamente gli air gaps, poiché dipendono principalmente dal processore di calcolo di ottimizzazione del file del programma Revit. Dalle immagini che seguono si può notare che il parametro risoluzione superfici analitiche e risoluzione vani analitici, che determinano la capacità dell'algoritmo di individuare le singole superfici e vani, non indica una maggiore accuratezza nella definizione di essi o meno.



Risoluzione vano analitico: 152
Risoluzione superficie analitica: 76



Risoluzione vano analitico: 203
Risoluzione superficie analitica: 101



Risoluzione vano analitico: 457
Risoluzione superficie analitica: 304

Fig. 81:
Rappresentazione delle superfici analitiche al variare dei valori legati alla loro risoluzione.

A un apparente miglioramento lineare di tali valori non corrisponde infatti una maggiore precisione dei perimetri delle superfici, evidenziando invece irregolarità diverse e casuali. Pertanto vengono mantenute le impostazioni di default del programma.

L'inefficacia delle modifiche del file gbXML, editabile in un semplice file di testo, spiega il fatto che il problema degli air gaps sia legato proprio al calcolo di ottimizzazione in Revit. Aprendo il file con il comune Blocco Note la struttura del file

.gbXML risulta facilmente leggibile e si possono individuare i vari air gaps così definiti:

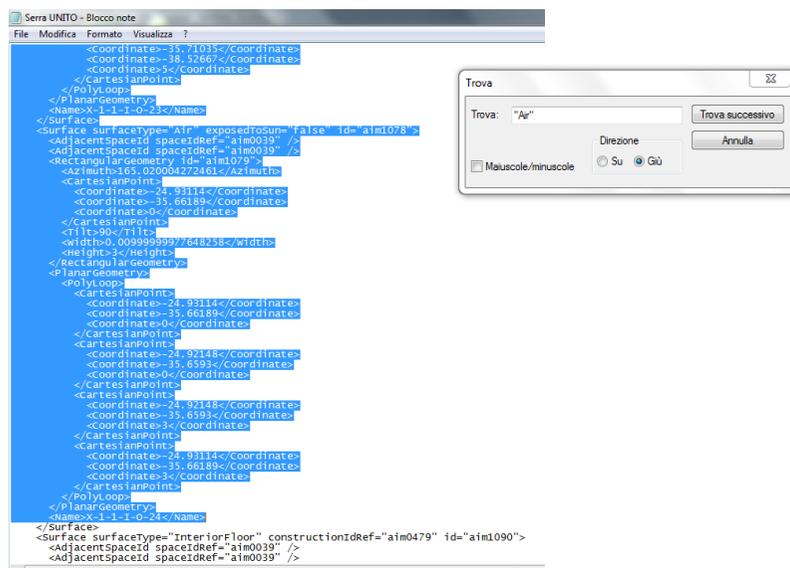


Fig. 82:
Individuazione degli air gaps presenti nel file .gbXML attraverso l'editor di testo Blocco Note.

Purtroppo la cancellazione manuale di tali parti di codifica non risolve il problema, in quanto occorrerebbe anche modificare tutte le coordinate che definiscono i perimetri delle superfici analitiche, affinché combacino tra di loro.

Una volta importato il modello nel nuovo software, si nota come un'altra perdita di dati sia legata alla modellazione degli elementi esterni al perimetro di definizione dei locali. Attraverso varie prove è stato dimostrato come tale problema non sia legato alla modellazione in sé ma al livello di dettaglio del modello gbXML, che risulta semplificato sia a livello di dettaglio che di informazioni, con la perdita di elementi di progetto come la listellatura (sia quella verticale di delimitazione della veranda che del brise soleil esterno) e il sistema di tendaggi esterno.

La semplificazione del modello infatti comporta l'associazione di un'unica superficie piana alla listellatura esterna, che nel caso del brise soleil viene "persa", poiché non viene associata in sovrapposizione alla superficie vetrata, che vince gerarchicamente sulla seconda. Nelle immagini di seguito riportate si dimostra come la perdita del sistema di ombreggiamento non sia legato alla modellazione di esso: sia che lo si disegni come elemento esterno giuntato, sia che venga inglobato nel disegno del pannello di facciata continua, come anche nel caso in cui ne vengano cambiate sensibilmente le dimensioni, si nota come la generazione delle superfici analitiche corrispondenti non cambi.

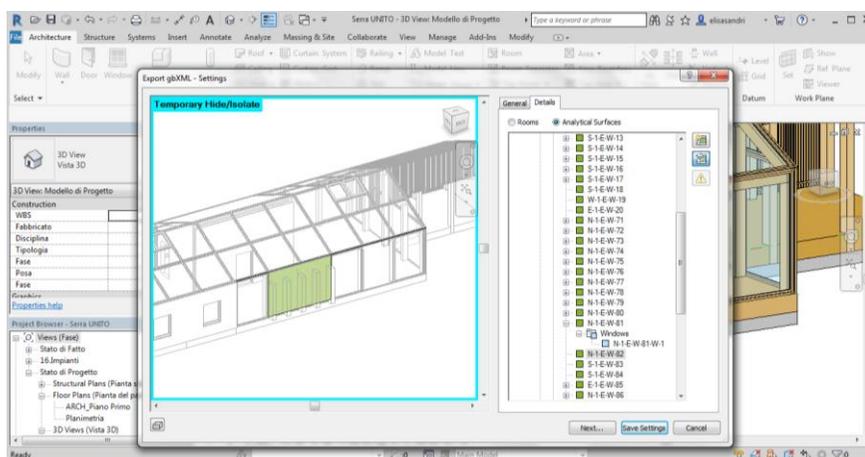


Fig. 83: Passaggi chiave per la comprensione del problema legato all'esportazione di elementi di listellatura.

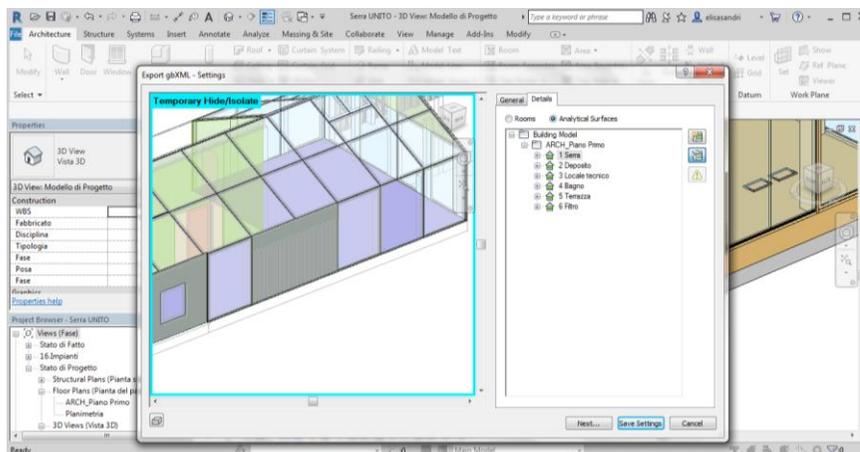


Fig. 84: Passaggi chiave per la comprensione del problema legato all'esportazione di elementi di listellatura.

Tale semplificazione viene spiegata inoltre nel momento in cui si procede con la definizione del modello BEM nel software Design Builder. Per la struttura del modello di calcolo emerge come l'informazione legata agli ombreggiamenti abbia una gerarchia diversa rispetto al programma di modellazione Revit. Se in quest'ultimo finestre e elementi schermanti vengono considerati oggetti diversi allo stesso livello, in Design Builder i sistemi di ombreggiamento risultano essere una sottocategoria delle aperture.

Per tale ragione la soluzione alla perdita di queste informazioni viene illustrata nel paragrafo successivo "2.8.2 Implementazione del modello".

Infine, occorre segnalare che come già preannunciato dal confronto dei programmi di calcolo del comportamento energetico dell'edificio, una significativa perdita di dati è data dalla mancata importazione di tutte le informazioni che concernono il sistema impianto, probabilmente dovuta alla complessità di conversione e ottimizzazione di tutti i dati ad

esso legati. Non essendo possibile in alcun modo mantenere nessun dato, né geometrico né prestazionale, la modellazione del sistema HVAC in Design Builder viene ripresa nel dettaglio successivamente, in relazione all'implementazione del modello BEM necessaria.

2.8.2 Implementazione del modello

Quando non è possibile risolvere il problema relativo alla perdita dei dati andando a modificare il file di input .gbXML, si ricorre a un'implementazione del modello BEM all'interno del software scelto, secondo le impostazioni che esso richiede.

In particolare si illustrano le soluzioni adottate per inserire le informazioni mancanti relative ai sistemi di ombreggiamento, brise soleil e sistema di tendaggi, e all'impianto.

Brise Soleil

Come accennato in precedenza, i sistemi di ombreggiamento in Design Builder rappresentano una sottocategoria all'interno della finestra relativa alle aperture.

Per i frangisole il programma prevede un'apposita voce "Local shading" in cui attraverso alcuni step guidati è possibile inserire tutti i valori caratteristici del sistema, specificandone la geometria e le caratteristiche fisco-termiche.

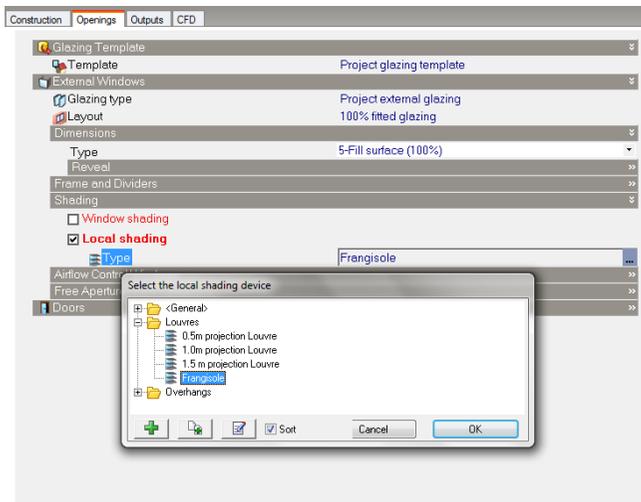


Fig. 85: Passaggi chiave per la definizione dell'elemento schermante frangisole.

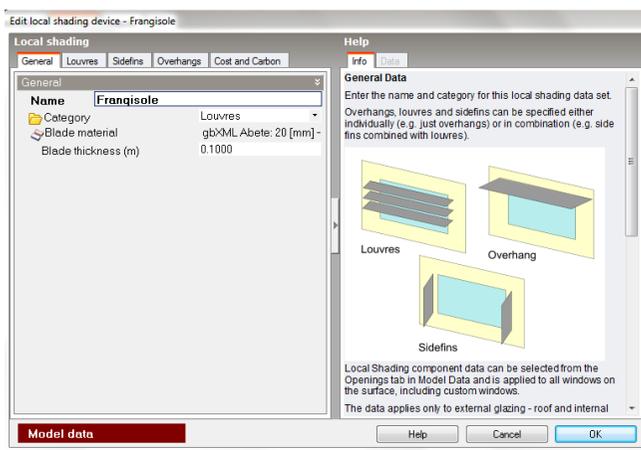


Fig. 86: Passaggi chiave per la definizione dell'elemento schermante frangisole.

Sistema tendaggio

L'ombreggiamento dato da un sistema tendaggio si differenzia da quello frangisole essendo definito alla voce "Window shading". Non essendo un sistema fisso, ma adattibile alle diverse esigenze durante i vari periodi dell'anno si può indicare andando a variare la percentuale di trasparenza dell'elemento vetrato su cui viene inserito. Inoltre occorre definire il periodo

di utilizzo andando ad associare un'apposita scheda di attività "Schedule", in cui viene specificato il periodo di utilizzo sia in un intervallo temporale mensile che orario.

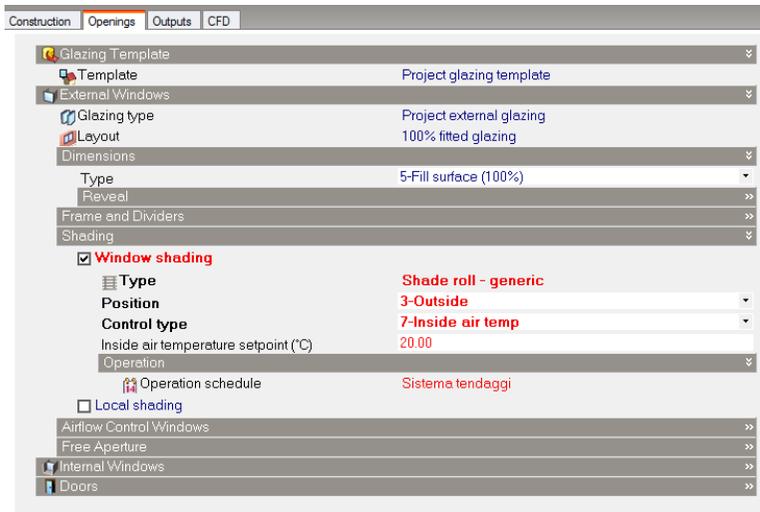


Fig. 87: Passaggi chiave per la definizione del sistema tendaggi.

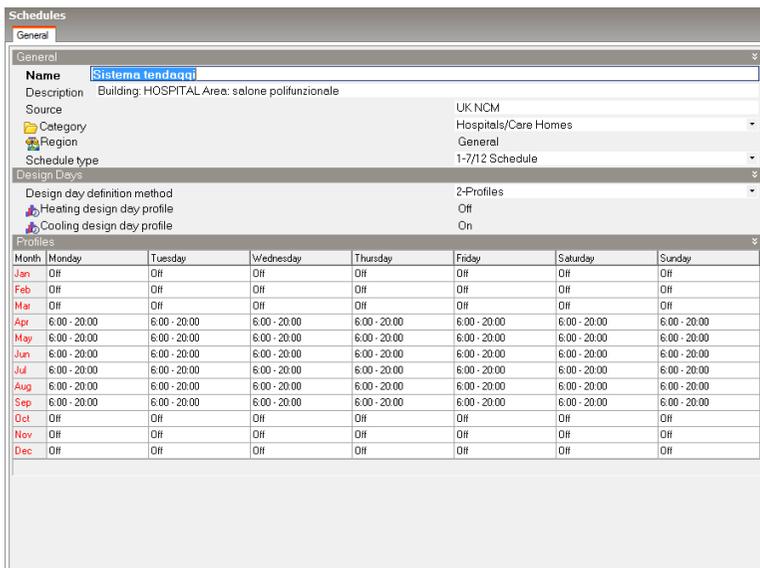


Fig. 88: Passaggi chiave per la definizione del sistema tendaggi.

Il sistema impiantistico

La perdita maggiore di dati durante il processo è data dalla mancanza di informazioni relative all'impianto nel modello importato. È quindi necessario andare a impostare nuovamente la tipologia impiantistica, sfruttando dei template suggeriti o disegnando i circuiti specifici.

Poiché le impostazioni legate agli impianti sono oggetto di continua revisione e implementazione nelle varie versioni, i template proposti si discostano dalle scelte progettuali, rendendo necessario un approccio di definizione specifica del caso.

Occorre impostare il livello di dettaglio del sistema HVAC come "Detailed", ed è quindi possibile indicare tutti i componenti dell'impianto con l'aiuto di una rappresentazione grafica esemplificativa del loro funzionamento e collegamento al circuito.

La zona termica, simbolicamente raffigurata come un quadrato, contiene al suo interno i terminali presenti negli ambienti, che a loro volta vengono connessi alle sorgenti scelte in modo da poter definire schematicamente il sistema impiantistico generale.

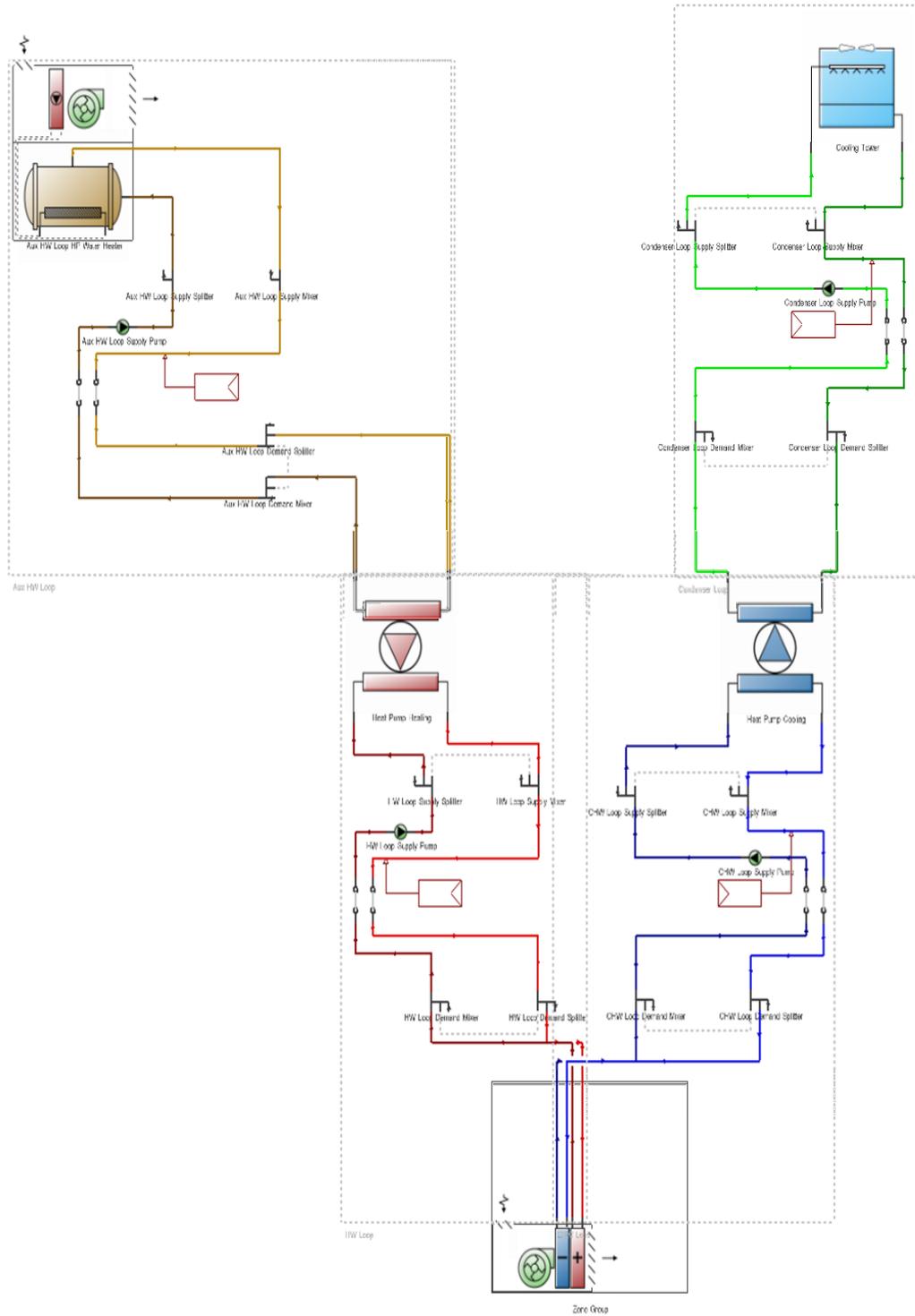


Fig. 89: Schema dell'impianto di climatizzazione definito in Design Builder.

Lo schema precedentemente riportato illustra il sistema impiantistico previsto nel progetto e illustrato nel paragrafo "2.3 La scelta dell'impianto" e seguenti.

In Design Builder la pompa di calore aria-acqua per il riscaldamento e raffrescamento viene rappresentata affiancando tra di loro due diversi circuiti ("loops") relativi ai flussi caldo/freddo, differenziandosi dalla modellazione parametrica in Revit, che permette di definire le caratteristiche della pompa di calore in un unico componente. Affinchè il motore di calcolo effettui la simulazione ogni loop deve risultare chiuso; la grafica e il processo guidato rendono lo schema di facile definizione e il relativo completamento dei dati necessari.

Per una completa definizione del sistema è possibile specificare anche le varie caratteristiche tecniche degli apparecchi dell'impianto, tra cui le temperature operative.

Inoltre occorre stabilire il periodo operativo dell'impianto, indicandone l'attivazione e lo spegnimento sia durante il giorno che durante la settimana, mese e anno. Definiti tutti questi aspetti il sistema permette di rispondere alle varie esigenze di comfort interno.

2.8.3 Impostazioni generali

In seguito all'implementazione del modello viene ottenuto un modello BEM dell'edificio su cui effettuare la simulazione dinamica.

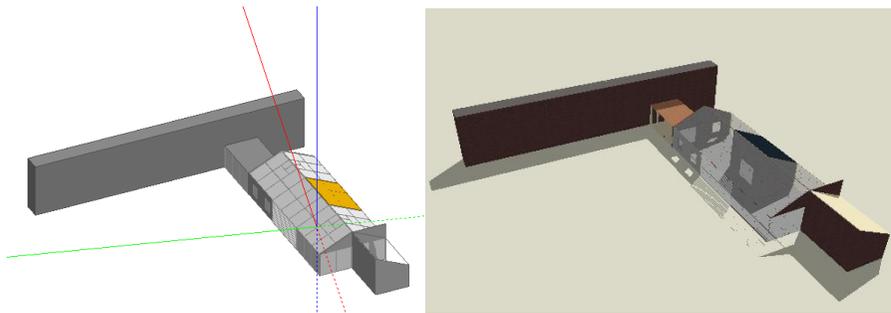


Fig. 90:
Rappresentazioni
assonometriche del
modello BEM.

Prima di procedere con l'analisi dei risultati ottenuti, occorre indagare il modello per la verifica della corretta impostazione di tutti i parametri che condizionano il regime di simulazione.

L'interfaccia di Design Builder è composta da una prima finestra di "Layout" in cui è possibile visualizzare e modificare la geometria della struttura e a cui seguono una serie di schede relative all'attività, alla costruzione, le aperture, il sistema impiantistico e altre specifiche di carattere ingegneristico. Poiché le finestre legate alla costruzione, alle aperture e al sistema impiantistico sono state illustrate nei loro aspetti salienti nei paragrafi precedenti riguardanti la costruzione del modello BEM e della sua implementazione, di seguito vengono riportate le immagini riguardanti alcuni dati fondamentali nella definizione delle attività, essendo queste legate al carico termico dell'edificio.

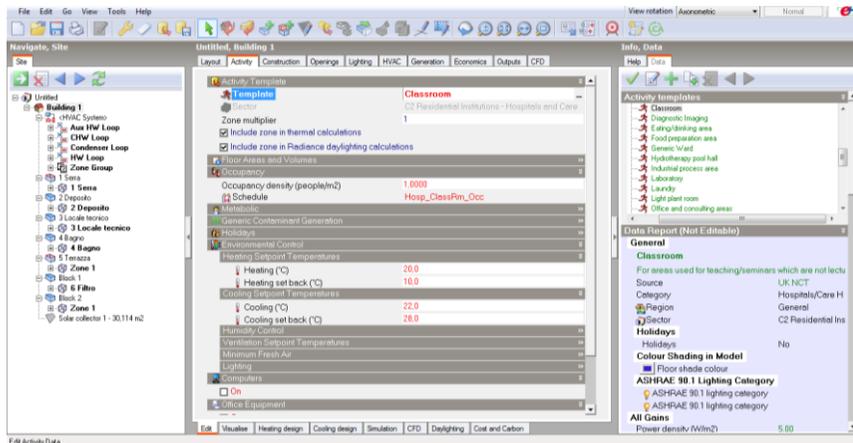
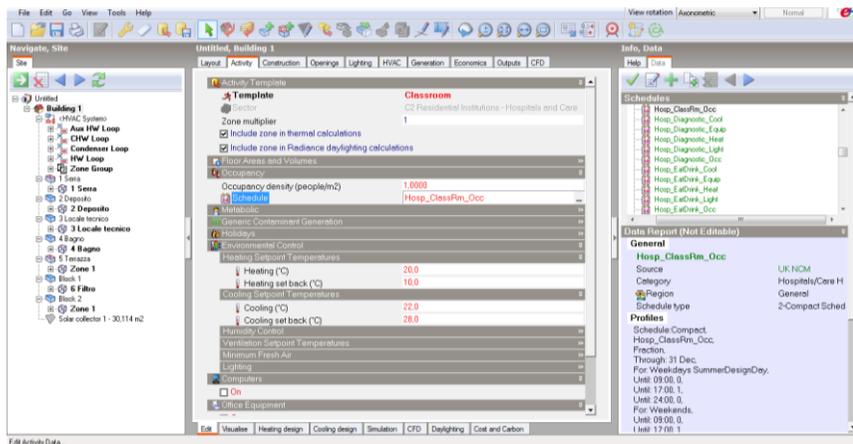


Fig. 91 e 92: Passaggi significativi legati alla definizione delle attività.



3. RISULTATI

In questo capitolo vengono ricapitolati e riassunti i risultati più significativi riportati dalle varie simulazioni. Grazie all'analisi dinamica è possibile valutare il comportamento termico secondo vari intervalli di tempo, osservando tutti i parametri ad esso collegati.

Per quanto riguarda il controllo del comfort termico, ovvero la condizione per cui un soggetto non percepisce alcuna differenza termica tra l'ambiente circostante e sé stesso, all'interno dell'edificio, vengono analizzati i profili delle temperature (dell'aria, radiante e operativa). Per ottenere una valutazione complessiva del variare dell'andamento delle temperature, si può visualizzare il profilo su scala annuale, come segue:



Fig. 93: Profili delle temperature su scala annuale.

Con lo scopo di favorire una migliore lettura dei risultati, si evidenziano simbolicamente i periodi relativi alle settimane di progetto (invernale e estiva), considerate con le condizioni ambientali a contorno più critiche, così come indicate dal motore di calcolo.

Settimana di progetto invernale: 1-7 Dicembre

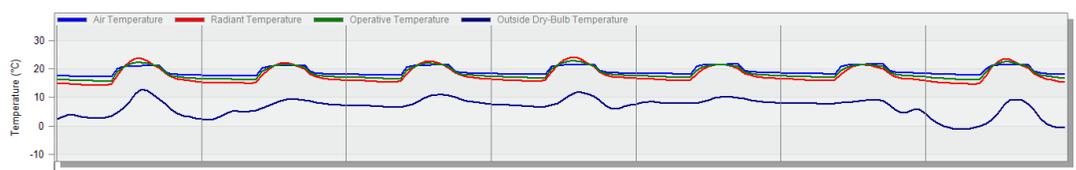


Fig. 94: Profili delle temperature.

Dal grafico si nota come nell'arco delle 24 ore si riscontra un leggero discomfort nelle ore notturne quando, non essendo previsto l'accesso alla struttura, l'impianto è spento, e nelle ore a ridosso dell'accensione e dello spegnimento del riscaldamento. Il tutto è giustificato inoltre dalle grandi superfici disperdenti dell'involucro trasparente che caratterizzano la struttura e che riducono l'inerzia termica dell'edificio.

Settimana di progetto estiva: 17-23 Agosto

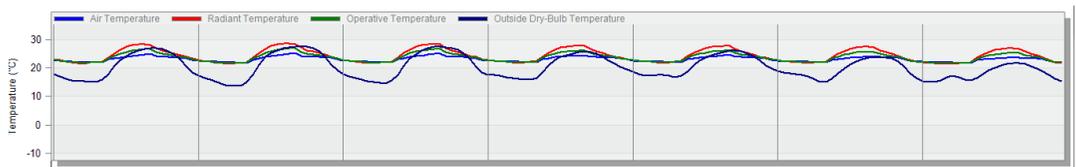


Fig. 95: Profili delle temperature.

Dal grafico riportato si può apprezzare il fatto che la temperatura interna sia inferiore a quella operativa e quella radiante e segua l'andamento della temperatura esterna, discostandosi di massimo 5°C circa.

Valutazioni analoghe all'andamento delle temperature possono essere fatte per il controllo igrometrico dell'edificio come riportato:

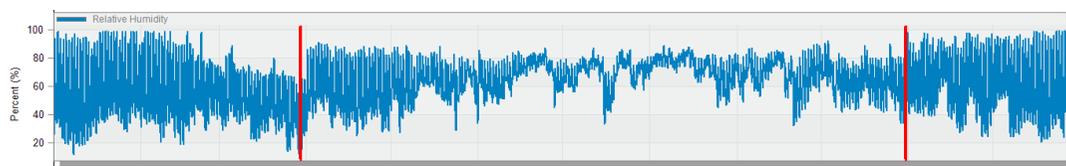


Fig. 96: Profilo dell'umidità relativa su scala annuale.

Settimana di progetto invernale: 1-7 Dicembre

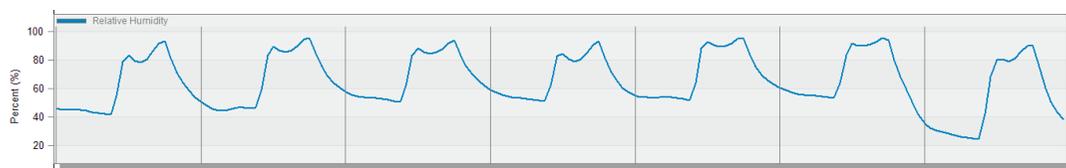


Fig. 97: Profilo dell'umidità relativa.

Settimana di progetto estiva: 17-23 Agosto



Fig. 98: Profilo dell'umidità relativa.

Non essendo previsto un impianto con controllo dell'umidità specifico, i profili non rispondono ai requisiti richiesti dalla normativa UNI EN ISO 7730³³, che prevede condizioni di percentuale di umidità relativa comprese tra 30-70%. Per ovviare a questo problema sarà necessario dunque installare un impianto di deumidificazione che possa essere attivato nei momenti di picco, in modo da ristabilire il comfort termo-igrometrico all'interno dell'edificio.

Altro risultato significativo deducibile dalla simulazione del comportamento energetico della struttura è rappresentato da un grafico comparativo delle potenze energetiche caratterizzanti l'edificio quali il riscaldamento, il raffrescamento, gli apporti solari, l'illuminazione e l'occupazione.

Soprattutto analizzando un grafico di maggiore dettaglio emerge come l'andamento caratteristico del carico per il riscaldamento per la stagione invernale sia in contrapposizione con il profilo degli apporti solari gratuiti.

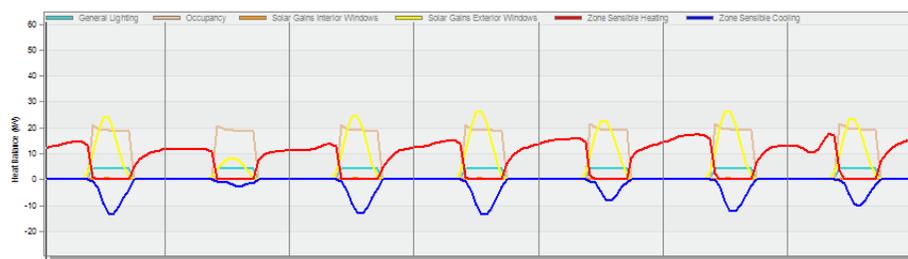


Fig. 99: Profili delle potenze energetiche.

Per quanto riguarda i consumi legati all'edificio, e ricordando che il progetto impiantistico oggetto di simulazione verte esclusivamente su quello di climatizzazione, è possibile osservare come la domanda di energia elettrica, per il funzionamento della pompa di calore aria-acqua, interessi maggiormente i mesi estivi. Tale consumo risulta coerente con le scelte progettuali dell'involucro edilizio, molto performante nel clima invernale.

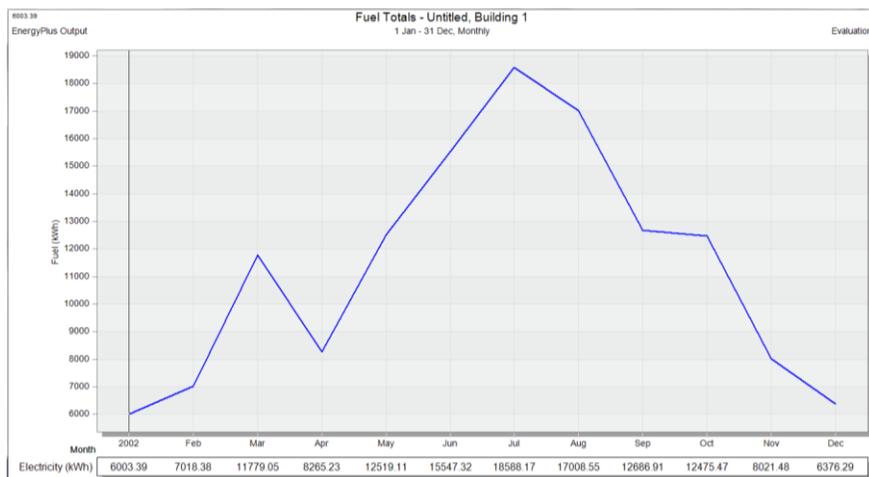


Fig. 100: Profilo del consumo di energia elettrica.

Inoltre, da Design Builder è possibile ricavare un report di dati che riassume globalmente i consumi energetici legati alla domanda di fabbisogno.

Di seguito vengono riportati i risultati su base annua dei consumi legati agli usi finali di energia primaria derivanti dalla simulazione del progetto.

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m³]
Heating	1941.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	108462.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	11956.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fans	4155.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	3185.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	2376.78	0.00	0.00	0.00	0.00	439.94
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	4445.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	136523.66	0.00	0.00	0.00	0.00	439.94

Tali valori vengono riportati anche in relazione alla superficie della zona termica del progetto.

Building Area

	Area [m ²]
Total Building Area	272.98
Net Conditioned Building Area	183.57
Unconditioned Building Area	89.41

Utility Use Per Conditioned Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m ²]	Natural Gas Intensity [kWh/m ²]	Additional Fuel Intensity [kWh/m ²]	District Cooling Intensity [kWh/m ²]	District Heating Intensity [kWh/m ²]	Water Intensity [m ³ /m ²]
Lighting	65.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	678.59	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40
Other	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	743.72	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40

Visto l'elevato consumo di energia elettrica, per comprendere appieno l'efficacia della resa dell'impianto, le cui prestazioni derivano da un predimensionamento conseguente all'analisi di fabbisogno energetico iniziale, da un punto di vista anche economico, occorre valutare l'impatto sul progetto di una maggiore integrazione di fonti rinnovabili per la produzione di energia primaria, in modo da bilanciare i consumi elettrici riducendone la domanda. Tale valutazione implica uno studio specifico di carattere maggiormente ingegneristico riguardo a soluzioni parallele differenti e/o ad un ridimensionamento del sistema impiantistico, andando a costituire un possibile progetto futuro.

4. CONCLUSIONI

L'obiettivo della tesi è stato quello di analizzare il comfort termico all'interno della serra bioclimatica di progetto, partendo da un modello parametrico 3D per arrivare allo sviluppo di un modello BEM adatto ad effettuare le analisi legate alle simulazioni energetiche.

Ciò ha permesso di delineare un processo di progettazione basato sulla metodologia BIM per l'analisi energetica, con particolare attenzione alla modellazione dell'impianto. Tramite successive sperimentazioni sono state testate potenzialità e criticità legate all'interoperabilità tra i software dedicati alla molteplicità di utilizzi del modello parametrico. Per quanto teoricamente il BIM si ponga come una soluzione autosufficiente per l'elaborazione di tutte le informazioni che concernono un progetto, nella pratica sono presenti ancora molti limiti, legati alla varietà e vastità dei dati richiesti.

Durante lo sviluppo del progetto è stato appurato come l'interoperabilità risulti efficace per molteplici fini, sebbene la gestione dei dati iniziali comporti alcune difficoltà. I forti tecnicismi che caratterizzano tutto il processo spingono a una riflessione spontanea sul ruolo e sulle abilità dell'architetto: oltre al cambiamento della modalità di progettazione, stiamo assistendo a un cambiamento della figura professionale dell'architetto? Quanto può essere ancora considerato netto il divario tra architettura e ingegneria?

5. SVILUPPI FUTURI

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri, ai fini di un progetto in collaborazione con la struttura sanitaria RSA Virgo Potens, sarebbe necessario un approfondimento ingegneristico del sistema impiantistico, andando a progettare nel dettaglio anche gli impianti elettrici e antincendio, che incidono sul consumo di energia primaria della struttura. Aumentare il dettaglio delle informazioni di progetto consentirebbe di indagare l'interoperabilità su vari aspetti legati allo stesso, come:

- l'ottenimento di report energetici specifici relativi all'analisi dei flussi e al comfort visivo, sfruttando anche motori di calcolo diversi da Design Builder;
- lo studio dell'apporto al fabbisogno energetico delle risorse di energia primaria derivanti dall'uso di fonti rinnovabili, considerando l'intera area del Santuario del Trompone;
- lo studio legato alla manutenzione dei vari componenti del progetto, definito in ambito BIM come Facility Management.

BIBLIOGRAFIA

- Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, Maggio 2012.
- Massimiliano Lo Turco, *Il BIM e la rappresentazione infografica nel processo edilizio. Dieci anni di ricerche e applicazioni*, ARACNE editrice S.r.l., Marzo 2015
- Chiara C. Rizzarda, Gabriel Gallo, *La sfida del BIM. Un percorso di adozione per progettisti e imprese*, Tecniche Nuove, Marzo 2017
- J. Abualdenien & A. Borrmann, *Multi-LOD model for describing uncertainty and checking requirements in different design stages*
- Luis Carlos De La Peña Arribas, *Revit MEP 2018. Curso practico*, Ra-Ma, Ottobre 2017
- Prada Hernandez, Rojas Quintero, Vallejo Borda, Ponz Tienda, *Interoperability of Building Energy Modeling (BEM) with Building Information Modeling (BIM)*, Ottobre 2015.
- Mohammad Hijazi, Karen Kensek, Kyle Konis, *Bridging the gap: Supporting data transparency from BIM to BEM*, University of Southern California, Los Angeles, CA, ARCC 2015 | Future of Architectural Research.
- Shady Attia, LEED®AP, *State of the Art of Existing Early Design Simulation Tools for Net Zero Energy Buildings: A Comparison of Ten Tools*, Technical Report, March 2011, Architecture et climat, Université catholique de Louvain, Louvain La Neuve, Belgium.
- Amritanshu Shukla, Atul Sharma, *Sustainability through Energy-Efficient Buildings*, 20 March 2018

SITOGRAFIA

- <https://www.healthcaredesignmagazine.com/trends/perspectives/8-benefits-bim-healthcare-design/>
- <http://www.trompone.it/il-santuario-della-beata-vergine-del-trompone>
- <http://www.poroton.it/user/articoli/n93/calcolo-fabbisogno-energetico-edificio/calcolo-fabbisogno-energetico-edificio.aspx>
- <https://harpaceas.it/modellazione-3d-in-campo-impiantistico-edile/>
- <https://www.ingenio-web.it/5972-limportanza-del-bim-nello-sviluppo-degli-impianti-mep>
- <http://www.shelidon.it/?p=2741>
- <https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/BPA-EnergyModeling/files/GUID-76E347D1-9763-4113-9199-C109063A3C0C-hm.html>
- <http://www.mygreenbuildings.org/2015/05/05/simulazione-energetica-dinamica-edifici-nzeb.html>
- https://www.edilportale.com/news/2018/01/focus/certificazione-energetica-e-impianti-quali-software-scegliere_61717_67.html
- <http://www.mygreenbuildings.org/2009/06/07/energyplus-designbuilder-simulazione-edificio-impianto-regime-dinamico.html>

Note

¹ Decreto n.560 del 1 dicembre 2017.

² Norma UNI 11337:2017 Edilizia e opere di ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni.

³ In: DAVE BARISTA, BIM for Healthcare: Early adopters of building information modeling technology are seeing great benefits when designing and building hospitals., February 01, 2007;

Traduzione personale: “Il BIM è un adattamento perfetto per la cura sanitaria a causa della natura complessa di questi edifici, la ripetitività dell'attività all'interno dell'edificio ed il bisogno di assicurare realisticamente il processo”, “avere un modello BIM totalmente integrato ci permette di simulare il processo e la distribuzione dei materiali, dei flussi dei pazienti e dello staff, e le attività MEP, e come sono relazionate tra di loro.”

⁴ Documentazione per la definizione di LOD da parte dell’AIA, American Institute of Architects.

⁵ Norma UNI 11337-1:2017 Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni. Nella parte 4 viene definita la definizione del LOD.

⁶ ISO 16739:2013; Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries.

⁷ ISO 10303 STEP, the Standard for the Exchange of Product Model Data

⁸ <http://biblus.acca.it/focus/ifc-cose-e-quali-sono-i-vantaggi/>

⁹ <http://www.gbxml.org/>

¹⁰ http://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/italian/index.html#page/electrical_design/ecad/About_the_Intermediate_Data_Format_IDF_.html

¹¹ <https://www.autodesk.it/products/navisworks/autodesk-navisworks-nwc-export-utility>

¹² Vedi Tesi a cura di Dusi Isabella, “Processo BIM e VR per l'edilizia sanitaria Caso studio: Centro Diurno per malati di Alzheimer per il

complesso del Trompone.” Rel. Anna Osello, Matteo Del Giudice. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Architettura Per Il Progetto Sostenibile, 2018

¹³ Idem

¹⁴ Idem

¹⁵ Vedi Tesi a cura di Rosato, Sara, “BIM per il Construction Management: metodologia applicata al progetto di una serra bioclimatica al complesso del Trompone.” Rel. Anna Osello, Matteo Del Giudice. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Architettura Per Il Progetto Sostenibile, 2018

¹⁶ Idem

¹⁷ <https://gbs.autodesk.com/GBS/>

¹⁸ <https://insight.autodesk.com/oneenergy>

¹⁹ <https://www.edilclima.it/software-termotecnica/prog-edile/scheda/770>

²⁰ Massimiliano Lo Turco e Orges Lesha, “Building Information Modeling e progettazione sostenibile. Modellizzazione parametrica e simulazione energetica di edifici a energia quasi zero.”

²¹ Mohammad Hijazi, Karen Kensek, Kyle Konis, “Bridging the gap: Supporting data transparency from BIM to BEM”, University of Southern California, Los Angeles, CA, ARCC 2015 | Future of Architectural Research.

²² <https://gbs.autodesk.com/GBS/>

²³ <https://energyplus.net/>

²⁴ <http://www.designbuilderitalia.it/>

²⁵ <https://www.openstudio.net/>

²⁶ <https://www.iesve.com/>

²⁷ <https://d-alchemy.com/>

²⁸ Idem

²⁹ <https://www.acca.it/software-certificazione-energetica>

³⁰ Idem

³¹ Shady Attia, LEED®AP, "State of the Art of Existing Early Design Simulation Tools for Net Zero Energy Buildings: A Comparison of Ten Tools" Technical Report, March 2011, Architecture et climat, Université catholique de Louvain, Louvain La Neuve, Belgium.

³² Amritanshu Shukla, Atul Sharma, "Sustainability through Energy-Efficient Buildings", 20 March 2018

³³ UNI EN ISO 7730:2006; Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale.