



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

**PROCEDURE “BIM-BASED” PER IL TRACCIAMENTO
DELLE PRESTAZIONI NEL CICLO DI VITA DEGLI EDIFICI:
IL CONTROLLO DEI SISTEMI HVAC**

**TRACKING OF REQUIREMENTS OVER THE BUILDING
LIFECYCLE THROUGH BIM-BASED PROCESSES:
CONTROL OF HVAC SYSTEMS**

Relatore:

Prof. Ing. Alessandro Carbonari

Tesi di laurea di:

Giovanni Paolo Avano

Correlatori:

Prof. Ing. Massimo Vaccarini

Prof. Ing. Massimo Lemma

A.A 2020 / 2021

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	2
2.	IL FACILITY MANAGEMENT	4
2.1	Gestione dei processi BIM	6
2.2	Lo standard di modellazione informativa IFC e OBC.....	14
3.	CONTROLLO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E DI COMFORT	19
3.1	Le prestazioni energetiche di un edificio: gli edifici NZEB	19
3.1.a	Il recepimento della Direttiva Europea sulla prestazione energetica degli edifici	20
3.1.b	Il mercato delle detrazioni fiscali per la riqualificazione del patrimonio edilizio	22
3.2	Il comfort termico: la norma UNI EN ISO 7730	23
3.2.a	Gli indici di Fanger: PMV e PPD.....	24
3.3	KPI: il consumo energetico ed il metodo D.....	26
4.	IL SOFTWARE DI SIMULAZIONE NUMERICA	28
4.1	Ambiente di simulazione Dymola	28
4.2	La modalità di analisi dati in ambiente Dymola	30
4.3	Le librerie per la simulazione ed il controllo	38
4.4	La modellazione dell'edificio EDEA	38
5.	VALUTAZIONE AUTOMATICA DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E DI CONTROLLO	54
5.1	Analisi informazioni di input	56
5.2	Analisi IFC	59
5.3	Analisi informazioni esterne	70
5.4	Definizione delle relazioni tra i dati	71
5.5	Calcolo e aggiornamento in tempo reale degli indicatori.....	75
6.	IL CASO DI STUDIO: EDIFICIO RESIDENZIALE	76
6.1	Stato di fatto del progetto EDEA.....	76
6.2	Il caso della simulazione.....	89
6.2.a	Risultati simulazione CASO A	91
6.2.b	Risultati simulazione CASO B	100
6.2.c	Risultati simulazione CASO C	109
6.2.d	Risultati simulazione CASO D	118
7.	ANALISI DEI RISULTATI DI SIMULAZIONE.....	127
8.	CONCLUSIONI	129
9.	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	130

1. INTRODUZIONE

Il processo di digitalizzazione delle informazioni è stato introdotto a seguito del recepimento della serie UNI 11337, continuamente aggiornato nel decennio appena trascorso, fino all'emanazione della serie ISO 19650 che rappresenta un punto di volta per la gestione del ciclo informativo di un edificio. La gestione di un edificio lungo il ciclo di vita utile è possibile solo grazie alla valutazione delle prestazioni, condotta mediante la formalizzazione di indici di prestazione (KPI) basati su dati forniti sia da un monitoraggio continuo, sia dalla conduzione dell'attività ivi svolta.

La digitalizzazione delle informazioni si configura come uno strumento di supporto per alimentare il flusso informativo richiesto dagli indici di prestazione, così da permettere un monitoraggio continuo nel tempo sull'andamento dello stato dell'edificio. La gestione, e quindi le decisioni intraprese lungo il ciclo di vita dello stesso si basano sull'andamento nel tempo degli indici di prestazione. Le informazioni prodotte durante tale gestione sono di tipo multidisciplinare, infatti si dispone di informazioni tecniche, gestionali, legislative, amministrative ed economiche.

Il formato dei dati spesso presenta importanti limiti nella condivisione delle informazioni come la possibilità di un mancato o insufficiente trasferimento. La digitalizzazione nel settore AEC ha visto l'impiego dello standard IFC come linguaggio aperto per la condivisione delle informazioni. Tuttavia, ha dimostrato limiti importanti come l'insufficienza di entità per l'archiviazione delle informazioni, la perdita di dati nella fase di esportazione degli SPF per la condivisione del modello digitale e la difficile divulgazione di nuovi standard che richiedono processi di approvazione spesso lunghi e non aggiornati con le richieste informative del mercato.

L'impiego di sistemi OpenBIM o OpenCDE permette la condivisione delle informazioni secondo formati aperti, dove ciascun soggetto coinvolto è autorizzato ad aggiornare, implementare e interrogare tutte le informazioni. Le informazioni presenti in un OpenCDE possono essere interrogate grazie alla costruzione di query personalizzate che non devono rispettare la struttura dello standard IFC; infatti, è possibile richiedere informazioni mediante parametri di query HTTP e corpi JSON.

La valutazione automatica delle prestazioni per un immobile si realizza all'interno del CDE, grazie alla disponibilità di informazioni aggiornate e condivisibili. Qualsiasi aggiornamento informativo viene tracciato per valutare le possibili ricadute sulle prestazioni offerte dall'edificio. Osservare l'andamento degli indici di prestazione permette una gestione efficace e coerente agli obiettivi imposti, nonché agli obblighi contrattuali.

Con il presente lavoro si intende definire un legame tra i sistemi OpenBim ed i parametri di controllo degli impianti di climatizzazione.

2. IL FACILITY MANAGEMENT

La UNI EN ISO 41011:2018 definisce il Facility Management (FM) come: “funzione organizzativa che integra persone, luoghi e processi nell’ambiente edificato con lo scopo di migliorare la qualità della vita delle persone e la produttività dell’attività principale”.

La UNI EN ISO 41001:2018 cita “il Facility Management (FM) integra molteplici discipline al fine di influenzare l’efficienza e la produttività delle economie di società, comunità e organizzazioni, così come il modo in cui gli individui interagiscono all’interno di tali organismi. L’FM influenza la salute, il benessere e la qualità della vita di gran parte della società e della popolazione mondiale tramite i servizi che gestisce e fornisce”.

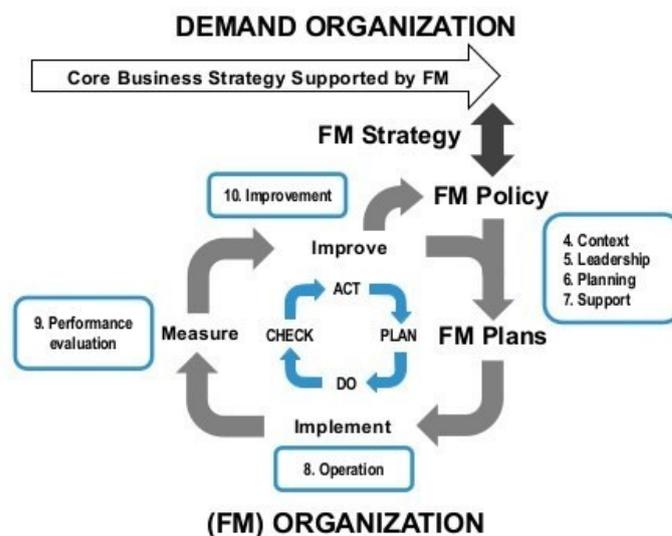


Fig. 1 - Plan-Do-Check-Act

“L’approccio per processi” è impiegato nella FM per produrre il risultato desiderato a seguito della scelta degli obiettivi aziendali. Il vantaggio è il controllo continuo sul collegamento tra singoli processi, così come sulla loro interazione.

Tale approccio, noto come “Plan-Do-Check-Act”, ovvero pianificare, fare, verificare e agire può essere così definito:

- **Plan:** stabilire gli obiettivi e i processi necessari per fornire risultati in conformità ai requisiti del cliente e alle politiche dell’organizzazione;
- **Do:** attuare i processi;
- **Check: monitorare e misurare** i processi ed i prodotti a fronte delle politiche, degli obiettivi e dei requisiti relativi ai prodotti, e riferire sui risultati;
- **Act:** intraprendere azioni per migliorare in modo continuo le prestazioni dei processi.

Le presenti norme hanno lo scopo di istituire un insieme strutturato di processi, metodi, documenti e strategie che possano essere adattati in tutti gli ambiti delle organizzazioni senza uno specifico risultato, vincolante e stringente, bensì come linguaggio internazionale coniato con definizioni e procedure.

La figura del Facility Manager è demandata alla gestione delle facilities (edifici, cespiti immobili) mediante le seguenti attività:

- Progettare, pianificare ed erogare i servizi a supporto del core business dell’azienda;
- Aumentare l’efficacia dell’azienda e la sua produttività;
- Adattare l’azienda al mercato.

Le principali aree di interesse si suddividono in:

1. **Strategico:** come e dove trovare e distribuire i servizi necessari all’azienda per raggiungere gli obiettivi di business, incluse decisioni sul budget e sui costi;
2. **Analitico:** ascoltare i lavoratori dell’azienda, per capire le loro necessità, se si sta facendo bene, e cosa altro si può fare per migliorare l’operatività e la produttività dell’azienda attraverso le facilities, o strutture, analizzando anche i dati prodotti dall’azienda nel tempo;
3. **Gestionale-operativo:** la gestione dei vari servizi, e dell’operatività, cioè di quando e come distribuire ed erogare al meglio i servizi di facility dell’azienda.

La digitalizzazione, ancor meglio la digitalizzazione del costruito (facilities), rappresenta la via maestra quale supporto per l'ottimizzazione del "building life-cycle" e del "facility management".

La norma **UNI 11337** rappresenta oggi la principale linea guida in materia di gestione digitale dei processi BIM, e si pone come norma complementare alla serie **UNI 19650** che descrive i concetti e i principi per la gestione delle informazioni incluso lo scambio, la registrazione, l'aggiornamento e l'organizzazione per tutti gli attori. Quest'ultima, è applicabile all'intero ciclo di vita di un cespite immobile, compresa la pianificazione strategica, la progettazione iniziale, l'ingegnerizzazione, lo sviluppo, la predisposizione della documentazione per gli affidamenti e la costruzione, il funzionamento operativo quotidiano, la manutenzione, la ristrutturazione, la riparazione e la fine del ciclo di vita.

2.1 Gestione dei processi BIM

La volontà di introdurre un sistema per la gestione digitale delle informazioni nel settore delle costruzioni vede l'avvento in Italia con l'emanazione della "UNI 11337:2009 –*Edilizia e opere di ingegneria civile: criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse, identificazione, descrizione e interoperabilità*". Tale norma è stata oggetto di più revisioni, integrazioni e organizzata poi in dieci parti, tutt'ora non emanate nel loro complesso. L'evoluzione tecnologica, come l'introduzione dell'IoT, oltre le esigenze rilevate nel corso dell'applicazione dei processi digitali, hanno portato ad evidenziare sempre nuove e crescenti necessità per le quali è richiesta una codifica normativa affinché possano essere impiegate in forma collaborativa e con la medesima struttura. A tal proposito, la UNI 11337 è oggetto di continua revisione, di cui ad oggi, si attende una nuova emanazione delle parti già approvate per supportare quanto introdotto della serie UNI 19650.

Di seguito viene illustrata una tabella di sintesi dello stato di recepimento della serie UNI 11337, quale principale riferimento per la gestione dei processi informativi.

UNI 11337:2017		Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni (BIM)			
✓	Parte 1	Modelli, elaborati ed oggetti	✓	Parte 6	Esempio Capitolato Informativo (CI)
✗	Parte 2	Denominazione e classificazione	✓	Parte 7	Qualificazione figure
✓	Parte 3	LOI e LOG (schede informative)	✗	Parte 8	PM / BIM-M
✓	Parte 4	LOD ed oggetti	✗	Parte 9	Fascicolo del Costruito
✓	Parte 5	Gestione modelli ed elaborati	✗	Parte 10	Verifica amministrativa

Table 1 - Gestione digitale dei processi informativi

La più recente adozione della serie UNI 19650, si pone come riferimento per la gestione dei cespiti immobili, per la quale la serie UNI 11337 è uno strumento subordinato e di supporto che richiede nuove revisioni affinché entrambe possano costituire uno strumento organico nella gestione dei processi informativi.

La **UNI EN ISO 19650 - 1: 2019** – *“Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 1: Concetti e principi”*; mette a disposizione raccomandazioni inerenti a un quadro concettuale per la gestione delle informazioni, che includa, lo scambio, la registrazione, l'aggiornamento e l'organizzazione per tutti gli attori. La norma è applicabile all'intero ciclo di vita di un cespitemmobile, compresa la pianificazione strategica, la progettazione iniziale, l'ingegnerizzazione, lo sviluppo, la predisposizione della documentazione per gli affidamenti e la costruzione, **il funzionamento operativo quotidiano, la manutenzione, la ristrutturazione, la riparazione e la fine del ciclo di vita**. La norma può essere adattata a cespiti immobili o a commesse di qualsiasi dimensione e complessità, al fine di non ostacolare la flessibilità e la versatilità che connota l'ampio spettro di potenziali strategie di aggiudicazione e di affidamento degli incarichi senza pregiudicarne il costo di implementazione della norma. Invece, la **UNI EN ISO 19650-3:2021** – *“Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 3: Fase gestionale dei cespiti immobili”*; specifica i requisiti per la gestione

delle informazioni, sotto forma di un processo gestionale, nel contesto della fase di gestione dei cespiti immobili e dello scambio di informazioni, quando si utilizza il BuildingInformation Modelling (BIM). La serie UNI 19650 introduce il sistema di requisiti informativi per il processo di gestione dei cespiti immobili e definisce una sequenza logica di fasi il cui contenuto permette di tracciare, organizzare e verificare le informazioni richieste dal procedimento. I documenti e le fasi gestionali possono essere suddivisi come di seguito:

- **OIR:** requisiti informativi dell'organizzazione come attività aziendale strategica, gestione strategica del cespite, pianificazione del portafoglio, ecc.;
- **AIR:** requisiti informativi inerenti al cespite immobile, quali aspetti gestionali, commerciali e tecnici;
- **PIR:** requisiti informativi della commessa;
- **EIR:** requisiti per lo scambio di informazioni dove vengono interessati i gruppi di consegna o fornitura;
- **AIM:** modello informativo inerente allo stato del cespite immobile e può contenere i registri delle attrezzature, costi di manutenzione, registri delle date di installazione e manutenzione, dettagli della proprietà, ecc.;
- **PIM:** modello informativo della commessa dove sono allocati dati geometrici, semantici e di vario genere per la progettazione, costruzione, collaudo e comunque fino alla consegna dell'opera.

La collaborazione della UNI 11337 alla UNI 19650, oltre ad affiancare l'intero ciclo di trasferimento delle informazioni, lega la fase di definizione del "Capitolato Informativo" alla fase EIR, come illustrato nell'immagine seguente.

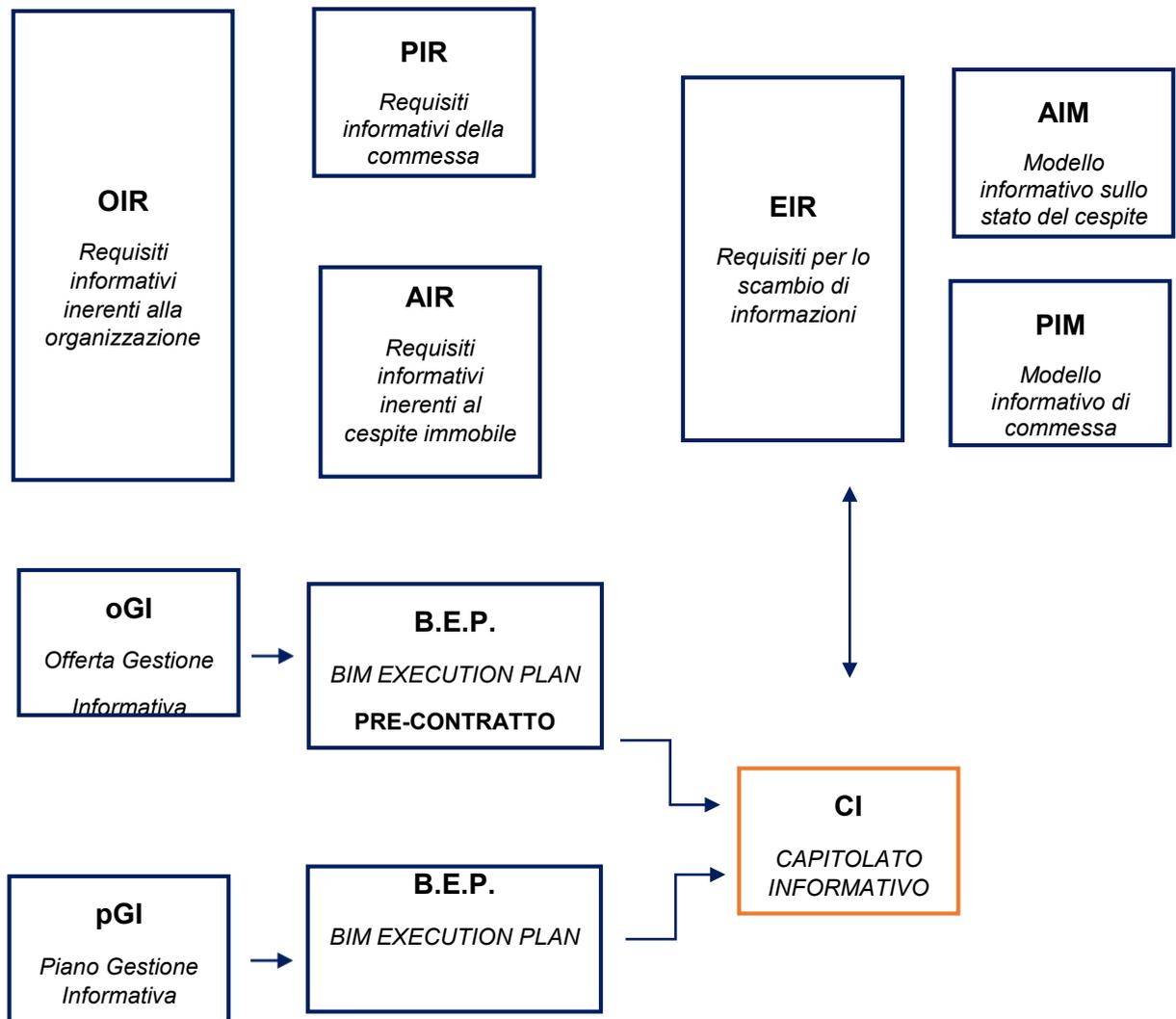


Fig. 2 - Flusso informativo tra le UNI EN 19650 e le UNI 11337

Il Capitolato Informativo – come descritto nella UNI 11337: 5 e 6 – è il documento che individua il quadro esigenziale della committenza, inteso come soluzioni software, hardware, formati di trasferimento delle informazioni, ecc.

A tal proposito, il ciclo di consegna delle informazioni deve essere pianificato quale input

per l'avvio del procedimento e risponde ai seguenti principi generali:

1. La gestione informativa è necessaria e disponibile per l'intero iter della commessa;
2. Le informazioni sono arricchite lungo il flusso della commessa e vengono coinvolti direttamente i responsabili del procedimento;
3. I requisiti informativi devono poter essere trasferiti dal promotore a possibili gruppi di aggregazione incaricati;
4. Lo scambio delle informazioni deve avvenire all'interno di un ambiente di condivisione dei dati "ACDat" mediante formati aperti e procedure condivise.

L'ambiente di condivisione dei dati è uno strumento presente per l'intero ciclo di vita del cespite immobile e non per le sole fasi di progettazione, elaborazione, costruzione e consegna; infatti, la gestione del patrimonio si fonda sulle informazioni, continuamente aggiornate, presenti nel modello digitale. I modelli definiti nel CDE – Common Data Environment (ACDat nel recepimento italiano) a cui fare riferimento per il trasferimento delle informazioni sono il PIM e l'AIM. La seguente illustrazione (fonte: UNI 19650-1) descrive l'interazione dei modelli PIM e AIM nel ciclo di trasferimento delle informazioni a seguito di un evento scatenante (trigger event) come può essere, ad esempio, un intervento di manutenzione straordinaria, una manifestazione pubblica, una variazione delle quantità di materiali, ecc.

Il modello AIM, nella disponibilità del soggetto proponente quale gestore del cespite immobile, che non necessariamente deve contenere informazioni geometriche viene interrogato e le informazioni trasferite al modello PIM (punto A). Questo viene sviluppato secondo lo scopo della commessa fino al suo completamento (punto B) e solo successivamente le nuove informazioni sono trasferite al modello AIM (punto C).



Fig. 3 - Ciclo informativo tra PIM e AIM

Il processo di digitalizzazione delle informazioni trova un ambiente favorevole per tutti i nuovi impianti di edifici per i quali viene a costituirsi un'esigenza ancora non presente nel territorio, ossia ogni qualvolta si ha la necessità di realizzare una nuova costruzione. Viceversa, il patrimonio esistente al servizio delle esigenze della popolazione rappresenta la percentuale maggiore che sarà interessata dal processo di digitalizzazione.

La fase che accoglie con maggior interesse la digitalizzazione delle informazioni è rappresentata dal ciclo di vita utile dell'edificio, infatti questa interessa un arco temporale considerevole, dove sono raccolte e condivise la maggior parte delle informazioni al fine di conseguire un'efficiente ed efficace gestione del cespite per garantire il mantenimento delle sue prestazioni, nonché l'operatività funzionale per l'intero ciclo di vita.

La UNI 19650 suggerisce un processo per la gestione delle informazioni lungo il ciclo di vita, in cui è possibile avvalersi dei modelli PIM e AIM, quali archivi di dati collaborativi, a supporto di processi decisionali che si inseriscono in momenti strategici.

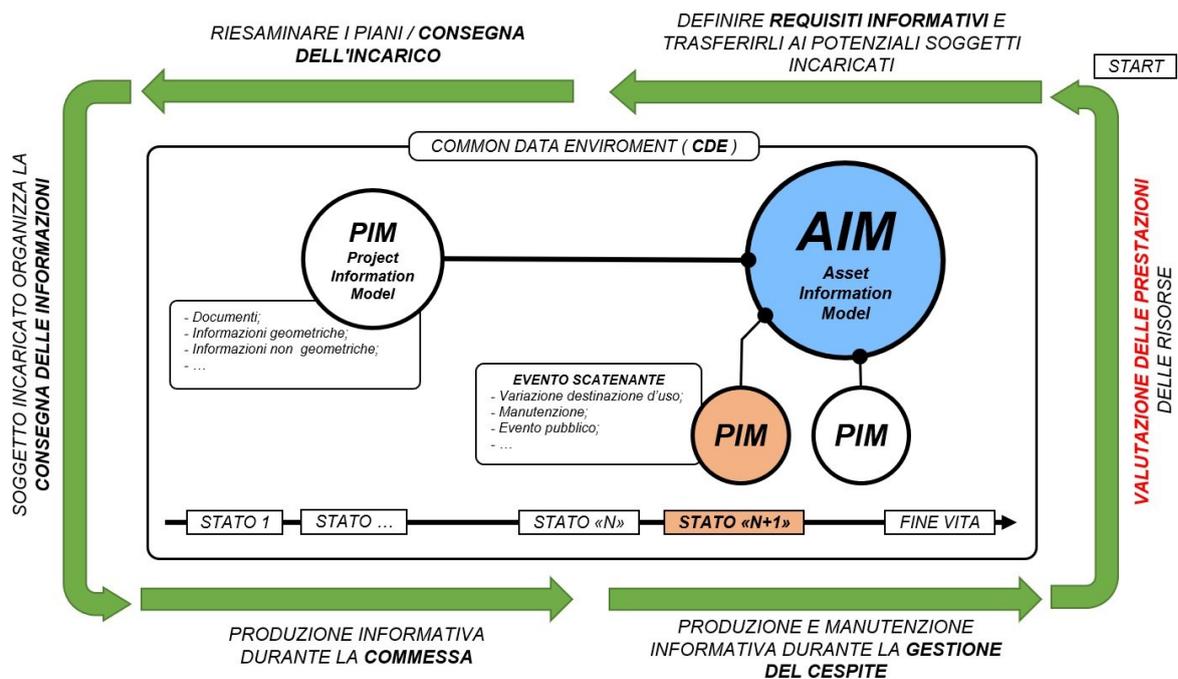


Fig. 4 - Processo per la gestione del cespite secondo la UNI EN 19650-1

Tutte le informazioni sono archiviate in un CDE, le quali subiscono un continuo aggiornamento ed implementazione con il susseguirsi degli eventi come anche del tempo. Nel caso più generale, l'edificio vede una prima fase di sviluppo dell'idea, progettazione e costruzione, dove tutte le informazioni sono disponibili nel modello PIM. La fase di ultimazione dell'opera, collaudo e consegna vede il trasferimento delle informazioni dal modello PIM al modello AIM. Questo è il contenitore di tutte le informazioni raccolte lungo la commessa e il modello su cui basare la gestione del cespite.

L'edificio è stato progettato e costruito per garantire delle prestazioni che devono essere

mantenute e/o migliorate nella fase di gestione.

L'obiettivo del Facility Manager è il mantenimento delle prestazioni del cespite immobile, ovvero il miglioramento per quanto possibile anche grazie all'avanzamento tecnologico, delle prestazioni fino al termine ultimo del ciclo di vita. Questo compito viene assolto grazie alla disponibilità di informazioni precise ed esaustive necessarie per il processo decisionale.

Grazie alla digitalizzazione delle informazioni, disponibili in un CDE, è possibile osservare, monitorare, consultare e interrogare i dati dell'edificio allo scopo di

valutare le prestazioni offerte dal cespite e se del caso intervenire con azioni correttive per ripristinare un deficit o raggiungere un livello di prestazione maggiore. Pertanto, è possibile individuare come punti di partenza, per il processo proposto dalla UNI 19650, la fase di monitoraggio delle prestazioni, intese ad esempio: efficienza energetica, comfort acustico e ambientale, sicurezza antincendio, consumi, gestione degli spazi, ecc.

La valutazione delle prestazioni richiede l'istituzione di precisi indicatori che permettano di monitorare e rilevare variazioni occorse lungo il ciclo di vita affinché sia possibile tracciare nuove esigenze, oltre a garantire il rispetto dei livelli di prestazione offerti dal cespite nella fase di consegna (inizio della fase di gestione).

Un esempio di indice di prestazione impiegato nel settore delle costruzioni è rappresentato dalla classe di efficienza energetica, espresso da un codice alfanumerico che individua il livello di prestazione offerto. Alla consegna del cespite viene definita una classe di efficienza energetica e successivamente, nella fase di gestione dello stesso, il facility manager ha l'obiettivo di conservare tale livello di prestazione, nonché per quanto ammissibile, apportare un miglioramento. La classe di efficienza energetica rappresenta un indicatore di prestazione sensibile a numerosi fattori che possono subire delle variazioni lungo il ciclo di vita dell'edificio. Basti pensare ad interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria che interessano le chiusure opache, sistemi di illuminazione, impianti tecnologici, ecc. Una qualsiasi variazione intervenuta ha la facoltà di modificare il livello di prestazione garantito fino all'istante precedente.

In generale, si può affermare la volontà di progettare un sistema di gestione delle informazioni, basato sulla valutazione automatica di indici di prestazione, grazie ai quali sia possibile conseguire una gestione digitale dell'edificio.

La formalizzazione degli indici di prestazione prevede la definizione di obiettivi chiari, quali sono i soggetti responsabili demandati a raggiungere gli obiettivi, quali informazioni influenzano il risultato, come è possibile misurare l'avanzamento e con quale frequenza, e in ultimo come riconoscere se l'obiettivo è stato raggiunto.

Il processo continua nella definizione dei requisiti informativi, risorse e possibili incarichi da assegnare, al fine di gestire l'esigenza. È cura del soggetto promotore individuare quali e quante informazioni sono ritenute necessarie per un'attenta valutazione, come selezionare quali professionalità sono coinvolte. Le informazioni

ritenute indispensabili sono fornite ai soggetti incaricati, che possono gestirle secondo un piano delineato dal soggetto promotore e inoltre, questi sono chiamati a produrre in fasi intermedie ben precise un aggiornamento sullo stato di avanzamento. Si giunge quindi alla fase di sviluppo del modello PIM che prevede momenti decisionali condotti mediante un confronto tra le parti. Quando il processo giunge al termine, tutte le informazioni aggiornate sono consegnate al soggetto promotore, cui rimane in capo la gestione del cespite mediante il modello AIM che si arricchisce per quanto attiene alle informazioni della specifica commessa.

2.2 Lo standard di modellazione informativa IFC e OBC

IFC (Industry Foundation Classes) è una descrizione digitale standardizzata del settore degli asset costruiti che si basa su di uno standard internazionale aperto (ISO 16739-1: 2020). I dati IFC desiderati possono essere codificati in vari formati, come XML, JSON e STEP e trasmessi su servizi Web, importati / esportati in file o gestiti in modalità centralizzata o database collegati.

L'IFC è l'unico standard internazionale per lo scambio di dati e l'integrazione intelligente di dati per edifici. Esso non riporta solo la geometria del modello ma anche i dati contenuti nel modello e le relazioni fra gli oggetti.

Tutte le attività appartenenti al settore delle costruzioni sono svolte da diversi soggetti che necessitano di metodi di comunicazione dei dati efficaci, in quanto la mole di documenti prodotta nelle varie fasi risulta essere onerosa.

Di tutti i software di tipo BIM presenti nel mercato, nessuno preso singolarmente è sufficiente a gestire per intero le informazioni associate ai settori dell'architettura, dell'ingegneria e del management. Nella maggior parte dei casi, ogni processo BIM, comporta l'utilizzo di più piattaforme.

Le basi fondamentali della collaborazione risiedono nel modo con il quale si inter-scambiano le informazioni tra gli operatori, indipendentemente dagli strumenti progettuali adottati. La necessaria adozione di più piattaforme software causa problemi di incompatibilità dei formati che portano alla perdita parziale di informazioni ostacolando il ciclo informativo.

L'azienda americana IAI (International Alliance for Interoperability) crea nel 2001 il formato IFC, che permette il passaggio da un software BIM ad un altro.

Il formato in questione, l'Industry Foundation Classes (IFC) si basa sullo stesso linguaggio di modellazione dell'ISO-STEP ed è il formato standard di gerarchizzazione delle informazioni, aperto e neutrale non collegato ad alcun produttore specifico di software. Esso è usato per lo scambio e l'interoperabilità di dati nell'industria delle costruzioni tra le singole applicazioni, consentendo di ridurre la perdita di informazioni nel passaggio dei file da un software ad un altro.

La complessità del mondo delle costruzioni si riflette ovviamente sul formato IFC, che a sua volta deve implementare una grande varietà di entità, proprietà e relazioni tra gli elementi. Esso, infatti non rappresenta solo elementi tangibili come muri, porte, travi ma anche entità astratte come attività, spazi, costi di costruzione ecc.

Il formato IFC è composto dalla struttura gerarchica, divisa in quattro grandi livelli, ognuno dei quali contiene a sua volta diverse categorie grazie alle quali sono definite le entità.

La struttura funziona in modo che un'entità di un dato livello può relazionarsi o fare riferimento solamente ad un'altra entità dello stesso livello o a un livello inferiore. Questa configurazione è predisposta per una crescita continua e permette alle entità di un livello basso di essere combinate per realizzare definizioni di livello superiore. Inoltre, in questo modo è implementata la distinzione per disciplina delle singole entità, rendendo possibile la fruizione del modello da parte degli strumenti propri di ogni disciplina.

I quattro livelli sono:

- *Resource layer*: contiene categorie di entità che rappresentano le proprietà di base come ad esempio geometria, materiali, costo in modo da essere generali e non specifiche per gli edifici.
- *Core layer*: contiene entità astratte anche non relative al mondo delle costruzioni, utilizzate nei livelli successivi.
- *Interoperability layer*: comprende entità facenti parte dell'edificio denominate *Shared Object*. Ad esempio, ci sono gli *shared building elements*, come pilastri, travi, porte ecc. oppure gli *shared facilities elements* che sono proprietà relative alla manutenzione.
- *Domain layer*: costituiscono le discipline di appartenenza delle varie entità come architettonico, strutturale, manutenzione ecc.

Lo standard IFC rappresenta una limitata sezione delle procedure e dei manuali necessari per definire compiutamente il processo di codifica internazionale dove i produttori software, come i soggetti della filiera dell'AEC e gli utenti si incontrano per vivere l'ambiente interoperabile.

La volontà di definire uno standard internazionale che permetta di essere comprensibile e fruibile da tutti gli utenti, svincolato dall'ambito come dalla lingua, ha richiesto la stesura di un *IFD* (International Framework for Dictionaries) inteso come il dizionario per la definizione degli oggetti e delle proprietà su cui basare la realizzazione delle entità presenti nell'IFC. Al fine di poter veicolare le informazioni si è presentata la necessità di codificare un *IDM* (Information Delivery Manual) quale manuale per lo scambio di informazioni necessario allo sviluppo di procedure software.

La diffusione del BIM nel settore dell'AEC vede una storia, seppur giovane, sufficiente per evidenziare diversi limiti nell'impiego dello standard IFC quale vettore di informazioni lungo il ciclo di lavoro. Infatti, è possibile riconoscere come l'IFC presenta una struttura molto articolata e complessa per la quale è richiesta una conoscenza approfondita affinché le informazioni siano istanziate in entità e attributi corretti. Inoltre, la definizione comune degli standard è soggetta ad un processo di validazione lungo e articolato che non permette di competere con la dinamicità di nuove esigenze richieste dal mercato. È possibile affermare infatti, come la maturità degli attuali standard IFC sia insufficiente per rispondere alle esigenze informative necessarie per la gestione delle facilities, ancor più evidente l'impossibile allocazione di informazioni di tipo dinamico, come ad esempio dati provenienti dal monitoraggio mediante sensori.

La primordiale volontà di concepire un sistema per la condivisione aperta delle informazioni mediante l'introduzione dell'IFC, nella sua applicazione ha evidenziato sensibili vincoli operativi che hanno generato l'esigenza di modificare il progetto iniziale.

Una strategia di controllo HVAC adeguatamente progettata, implementata e mantenuta può ridurre il consumo energetico degli edifici commerciali del 20-30%. L'ottimizzazione del controllo può ridurre il consumo di energia di un ulteriore 10-15%. Queste opportunità sono attualmente sottoutilizzate perché i processi di ottimizzazione del controllo, implementazione e messa in servizio non sono completamente automatizzati e non interagiscono con l'analisi energetica

dell'intero edificio. La mancanza di interoperabilità e automazione aumenta lo sforzo manuale, i costi e l'errore umano, limitando l'implementazione di sequenze di controllo ad alte prestazioni. Il progetto OpenBuildingControl (OBC) mira a colmare queste lacune di digitalizzazione e interoperabilità.

BACnet e Haystack/BRICK già digitalizzano e standardizzano rispettivamente gli aspetti di comunicazione e di etichettatura semantica del processo di consegna del controllo dell'edificio. OBC completa la catena digitalizzando e standardizzando l'espressione della logica di controllo.

Nel progetto BENEFIT-2016 Open Building Control, il team del progetto ha definito un Control Description Language (CDL) che consente di simulare sequenze di controllo per la valutazione delle prestazioni e di compilarle per essere eseguite direttamente sulle linee di prodotti di controllo effettive. CDL è un sottoinsieme del linguaggio di simulazione standard internazionale Modelica.

Modelica è stato scelto perché il suo alto livello di astrazione supporta la verifica e l'ottimizzazione automatizzate, nonché la traduzione in linguaggi di implementazione di sequenze di controllo imperativo come C++ e Python. Il CDL può essere simulato in modo fisicamente realistico utilizzando Modelica Buildings Library e Spawn.

OBC ha implementato una libreria di sequenze di controllo ad alte prestazioni in CDL, comprese quelle definite nella linea guida ASHRAE 36 "Sequenza di operazioni ad alte prestazioni per sistemi HVAC". Il gruppo dietro il progetto OBC ha anche implementato strumenti per testare e mettere in servizio le sequenze di controllo.

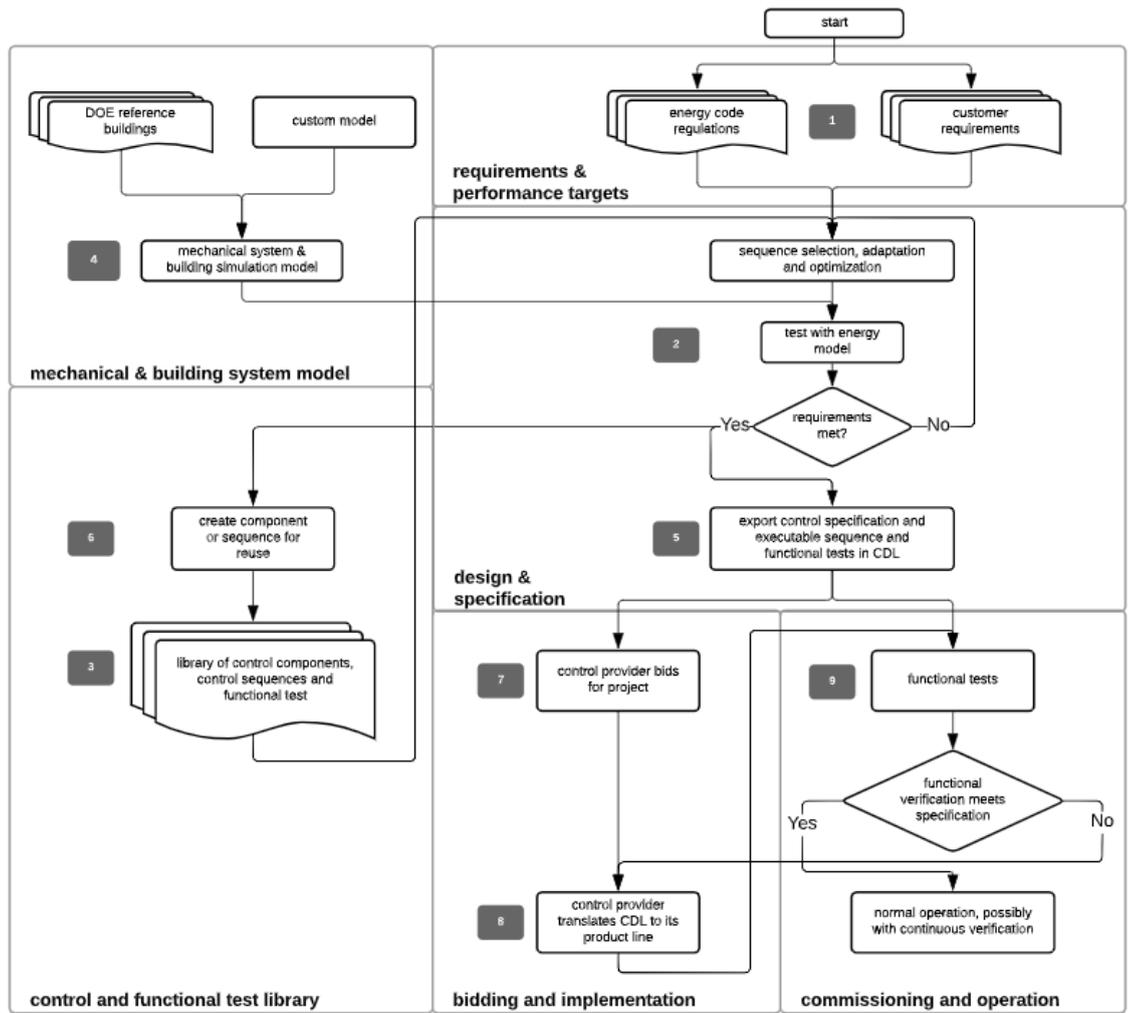


Fig. 5 - Workflow per il control design

3. CONTROLLO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E DI COMFORT

Per poter avere un'immagine chiara di cosa stia accadendo al sistema di climatizzazione di un edificio in tempo reale è necessario fissare dei parametri che racchiudono delle informazioni sulla salute dello stesso impianto e degli occupanti. Per questo motivo si è scelto di concentrarsi su due macro aree: la prestazione energetica intesa nel suo dato più puro, ovvero il consumo energetico, ed un parametro che faccia riferimento al benessere termico all'interno di ogni singolo ambiente.

3.1 Le prestazioni energetiche di un edificio: gli edifici NZEB

L'indice di prestazione energetica indica in particolare quanta energia viene consumata affinché l'edificio o l'unità immobiliare raggiungano le condizioni di comfort per il riscaldamento invernale, la produzione di acqua calda sanitaria, il raffrescamento estivo e l'illuminazione a seconda dei servizi energetici presi in considerazione dal tipo di immobile. L'EPI viene espresso in kWh/m² per anno o in kWh/m³ per anno in caso di locali non residenziali.

In merito alla recente tendenza al risparmio energetico, l'Unione europea ha indicato la strada da percorrere ai paesi membri con la direttiva 2002/91/Ce sul "rendimento energetico nell'edilizia" o la direttiva 2006/32/CE sull' "efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici")

Dal 2021, tutti gli edifici nuovi o soggetti a una ristrutturazione importante di primo livello dovranno essere a fabbisogno di energia quasi zero (NZEB). Negli stessi casi gli edifici pubblici daranno l'esempio, rispondendo ai requisiti NZEB già dal 2019.

Per i nuovi edifici, in Lombardia la data è stata anticipata al 2016 e, in Emilia Romagna, al 2017 per gli edifici pubblici e al 2019 per gli altri. L'Italia definisce un NZEB come un edificio ad altissima prestazione energetica [...] in cui il fabbisogno energetico (molto basso o quasi nullo) è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in loco.

Un edificio a energia quasi zero (NZEB), sia di nuova costruzione che esistente, deve rispondere ai seguenti requisiti tecnici:

- a) stabiliti dal DM 26 giugno 2015 “Requisiti minimi degli edifici”
- b) sono rispettati gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all’Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del D.Lgs 3 marzo 2011, n. 28.

3.1.a Il recepimento della Direttiva Europea sulla prestazione energetica degli edifici

Il decreto legislativo 48/2020 recepisce la direttiva (UE) 2018/844 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica. Tra i principali obiettivi della direttiva oggetto del recepimento quelli di:

- accelerare la ristrutturazione economicamente efficiente degli edifici esistenti;
- integrare le strategie di ristrutturazione a lungo termine nel settore dell’edilizia per favorire la mobilitazione di risorse economiche e la realizzazione di edifici ad emissioni zero entro il 2050;
- promuovere l’uso delle tecnologie informatiche e intelligenti (ICT) per garantire agli edifici di operare e consumare in maniera quanto più efficiente;
- dare un impulso alla mobilità elettrica con l’integrazione delle infrastrutture di ricarica negli edifici.

L’articolo 2 del provvedimento modifica il D.Lgs. 192/2005 sul rendimento energetico dell’edilizia⁵¹ anche con l’obiettivo di “perseguire la conoscenza dettagliata del parco immobiliare nazionale, della sua prestazione energetica e dei suoi consumi, anche attraverso l’implementazione, la valorizzazione ed il collegamento tra le banche dati, mettendo tali informazioni a disposizione dei cittadini, delle imprese e della pubblica amministrazione anche al fine di sviluppare strumenti che incrementino il tasso di riqualificazione energetica degli edifici”; nonché di “promuovere la diffusione delle infrastrutture di ricarica dei veicoli elettrici e definire gli obblighi di integrazione di tali sistemi negli edifici”.

In particolare, al primo dei due obiettivi citati è legata l’adozione di una strategia di ristrutturazione a lungo termine per sostenere la ristrutturazione del parco nazionale di edifici per un parco immobiliare decarbonizzato e ad alta efficienza

energetica entro il 2050 (articolo 5). A supportare questo obiettivo di lungo termine, numerose integrazioni e modifiche all'articolo 4 del decreto legislativo n. 192 del 2005 relativo a criteri generali, metodologia di calcolo e requisiti della prestazione energetica degli edifici. In particolare (articolo 6):

- in fase di progettazione per la realizzazione di nuovi edifici, o per la ristrutturazione importante degli edifici esistenti, dovrà tenere conto della fattibilità tecnica, funzionale, ambientale ed economica dei sistemi alternativi ad alta efficienza, se disponibili;
- i nuovi edifici e gli edifici esistenti, in occasione della sostituzione del generatore di calore, ove tecnicamente ed economicamente fattibile, sono dotati di dispositivi autoregolanti che controllino separatamente la temperatura in ogni vano o, ove giustificabile, in una determinata zona riscaldata o raffrescata dell'unità immobiliare;
- nel caso di nuova installazione, sostituzione o miglioramento dei sistemi tecnici per l'edilizia, i requisiti minimi comprendono il rendimento energetico globale, assicurano la corretta installazione e il corretto dimensionamento e prevedono inoltre adeguati sistemi di regolazione e controllo, eventualmente differenziandoli per i casi di installazione in edifici nuovi o esistenti;
- per i nuovi edifici e gli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti, i requisiti rispettano i parametri del benessere termo-igrometrico degli ambienti interni, della sicurezza antincendio e sismica;
- ove tecnicamente ed economicamente fattibile, entro il 1° gennaio 2025 gli edifici non residenziali, dotati di impianti termici con potenza nominale superiore a 290 kW, sono dotati di **sistemi di automazione e controllo**;
- negli edifici di nuova costruzione, negli edifici sottoposti a ristrutturazione importante e negli edifici non residenziali dotati di più di 20 posti auto devono essere rispettati nuovi criteri di integrazione delle tecnologie per la ricarica dei veicoli elettrici. In tema di strumenti finanziari e superamento delle barriere di mercato (articolo 7), gli incentivi adottati dallo Stato, dalle regioni e dagli enti locali per promuovere l'efficienza energetica degli edifici, qualora siano volti a migliorare l'efficienza energetica in occasione della ristrutturazione degli edifici, sono commisurati ai risparmi energetici perseguiti o conseguiti. Gli strumenti di

incentivazione favoriscono inoltre la sinergia tra i fondi nazionali e i fondi strutturali europei.

3.1.b Il mercato delle detrazioni fiscali per la riqualificazione del patrimonio edilizio

Nel periodo 2014-2018 sono stati realizzati più di un milione e settecentomila interventi, cui si vanno ad aggiungere gli oltre 395.000 del 2019, di cui oltre 145.000 sia per la sostituzione dei serramenti sia per la sostituzione dell'impianto di climatizzazione invernale. A partire dal 2011, sono oltre 3 milioni gli interventi effettuati; oltre 4 milioni dall'avvio del meccanismo nel 2007. Ammontano a circa 3,5 miliardi di euro gli investimenti attivati nel 2019, di cui oltre 1,3 miliardi destinati alla sostituzione dei serramenti e circa un miliardo alla sostituzione dell'impianto di climatizzazione invernale. Gli investimenti attivati a partire dal 2014 ammontano a oltre 20 miliardi di euro; oltre 30 miliardi di euro gli investimenti attivati dal 2011; circa 42,5 miliardi dall'avvio del meccanismo nel 2007. La Tab..... riporta nel dettaglio anche i risparmi energetici ottenuti grazie agli interventi effettuati nel 2019, secondo le diverse tipologie di intervento previste, per un totale di 1.254 GWh/anno. Nel periodo 2014-2019 il risparmio energetico è stato pari a circa 7.100 GWh/anno; a partire dal 2011, il risparmio energetico ha superato i 11.300 GWh/anno; a partire dall'avvio del meccanismo nel 2007, il risparmio complessivo è pari a circa 17.700 GWh/anno. I risparmi ottenuti nel 2019 sono associabili in particolare a interventi finalizzati alla coibentazione dell'involucro (oltre un terzo del totale), alla riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento dell'intero edificio (oltre il 30%) e alla sostituzione dei serramenti (circa un quarto).

Tipologia di Intervento	n.	%	M€	%	GWh/a	%	Vita utile (anni)	Costo efficacia (€/kWh)
Condomini	605	0,1	93.056.857	2,7	24,4	1,9	30	0,10 €
Riqualificazione globale	2.436	0,6	231.519.190	6,6	72,0	5,7	30	0,11 €
Coibentazione involucro	17.237	4,2	666.075.038	19,1	423,9	33,8	30	0,09 €
Sostituzione serramenti	145.585	38,7	1.304.822.668	37,5	287,6	22,9	30	0,10 €
Schermature solari	76.229	18,8	133.722.665	3,8	18,5	1,5	30	0,26 €
Pannelli solari per ACS	4.982	1,2	41.037.047	1,2	27,9	2,2	15	0,09 €
Climatizzazione invernale	145.715	35,8	989.171.220	28,4	394,4	31,5	15	0,20 €
Building automation	2.233	0,5	23.894.784	0,7	5,2	0,4	10	0,19 €
Totale	395.022	100	3.483.299.469	100	1.254	100		

Fonte: ENEA

Fig. 6 - Tabella degli interventi di efficientamento energetico nel 2020 in Italia

Il numero di interventi incentivati tramite Ecobonus è inferiore rispetto quanto rilevato attraverso i dati di vendita sul mercato nazionale, proprio perché molti interventi sono incentivati attraverso le detrazioni fiscali per il recupero edilizio – Bonus Casa, nell’ambito di lavori di ristrutturazione più ampi e inerenti quindi soltanto in parte alla performance energetica dell’immobile, oltre che per una quota residuale attraverso i Certificati Bianchi e il Conto Termico: la quota del mercato incentivata con il recupero edilizio è assunta pari al 60%¹. In particolare, sulla base delle richieste di incentivo pervenute ad ENEA nel 2019 sono stati eseguiti circa 600.000 interventi, concentrati prevalentemente su quelle tipologie che sono incentivate al 50% anche con il meccanismo dell’Ecobonus. Il risparmio energetico conseguito supera gli 840 GWh/anno.

Il contributo principale è apportato dalle pompe di calore e dalle caldaie a condensazione, che insieme contribuiscono a circa i due terzi del risparmio complessivo. Rispetto ai dati di vendita osservati nel 2019 sul mercato nazionale per caldaie a condensazione (716.000 pezzi nel 2019), pompe di calore destinate a impianto primario di riscaldamento (150.000 pezzi nel 2019) e serramenti (4,27 milioni di pezzi nel 2019 destinati al rinnovo), le richieste di incentivazione monitorate attraverso i due meccanismi di detrazione fiscale riguardano mediamente il 15% del mercato.

In questo contesto si vuole evidenziare come le tipologie di intervento inerenti la Building Automation hanno il loro piccolo contributo circa le prestazioni energetiche e come una sola analisi di esse possa scostarsi dall’obiettivo principale, il comfort. Fare un intervento di riqualificazione energetica senza conoscere i profili di occupazione, di utilizzo e una storia climatica dettagliata del sito potrebbe essere non sufficiente a raggiungere l’obiettivo desiderato di comfort all’interno dell’edificio.

3.2 Il comfort termico: la norma UNI EN ISO 7730

La valutazione del microclima prevede indici di riferimento diversi in base al contesto microclimatico locale, ognuno dei quali integra con modalità diverse le grandezze ambientali e personali misurate. Gli ambienti moderati presentano condizioni microclimatiche omogenee, tali da sollecitare in modo limitato il sistema

di termoregolazione. Questi ambienti sono caratterizzati da temperature non eccessive e da un'attività fisica modesta, mentre negli ambienti cosiddetti di severo caldo e severo freddo il mantenimento della condizione di omeotermia, a causa di condizioni microclimatiche estreme, richiede un intervento forte del sistema di termoregolazione.

3.2.a Gli indici di Fanger: PMV e PPD

Negli ambienti termici severi lo studio delle condizioni microclimatiche è finalizzato a prevenire situazioni di stress dalle conseguenze anche gravi; negli ambienti termici moderati si misura il grado di disagio dei lavoratori, non necessariamente causa di patologie. Il comfort ambientale è associato a condizioni di neutralità termica, in cui la percezione delle condizioni climatiche da parte del soggetto è tale che questi non richiede condizioni diverse da quelle esistenti. Nel caso della valutazione degli ambienti moderati, gli indici utilizzati, secondo la norma UNI EN ISO 7730:2006, sono il Voto Medio Previsto (Predicted Mean Value – PMV) e la Percentuale Prevedibile di Insoddisfatti (Predicted Percentage Dissatisfied – PPD) ad esso correlato. Il valore di PMV è espresso dalla seguente equazione di Fanger:

$$\text{PMV} = \text{CT} (0,303 \cdot e^{-0,036 M} + 0,028)$$

dove CT rappresenta il carico termico determinato dalla differenza tra la potenza termica ceduta da un individuo all'ambiente e quella scambiata dallo stesso in condizioni omeoterme; il valore di M nell'esponente esprime invece il dispendio metabolico dell'organismo. Il valore dell'indice PMV esprime lo scostamento della situazione reale dell'ambiente termico rispetto a quella di benessere (anche detta comfort, cioè "la condizione mentale in cui viene espressa soddisfazione per l'ambiente termico") e rappresenta differenti livelli di accettabilità di un dato ambiente termico. Nella Tab. è rappresentato il campo di variabilità dell'indice PMV

Tabella n. 1	Scala di valutazione dell'ambiente termico secondo il PMV
+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Leggermente caldo
0	Neutro
-1	Fresco
-2	Freddo
-3	Molto freddo
+3	Molto caldo
+2	Caldo

Fig. 7 – “Tabella 1” Scala di valutazione del comfort secondo Fanger

La percentuale prevedibile di insoddisfatti è correlata al valore di PMV dall'equazione: $PPD = 100 - 95 \cdot e^{(0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)}$ il cui grafico è riportato in figura n. 1. In condizioni di $PMV = 0$ il valore del PPD è pari al 5%: ciò significa che anche in condizioni ottimali esiste una percentuale di soggetti che giudica insoddisfacenti le condizioni microclimatiche. Nella realtà entrambi gli indici sono applicabili entro i limiti riportati nella tabella n. 2. In ogni caso il giudizio sul benessere ambientale espresso dal PMV si ritiene realistico quando l'indice PMV si mantiene entro i limiti -2 e $+2$.

Tabella n. 2	Limiti di applicabilità del criterio PMV-PPD
M	= da 46 a 232 W/m ² (da 0,8 a 4 met)
I _{cl}	= da 0 a 0,310 m ² °C/W (da 0 a 2 clo)
T _a	= da 10 a 30 °C
V _{ar}	= da 0 a 1 m/s

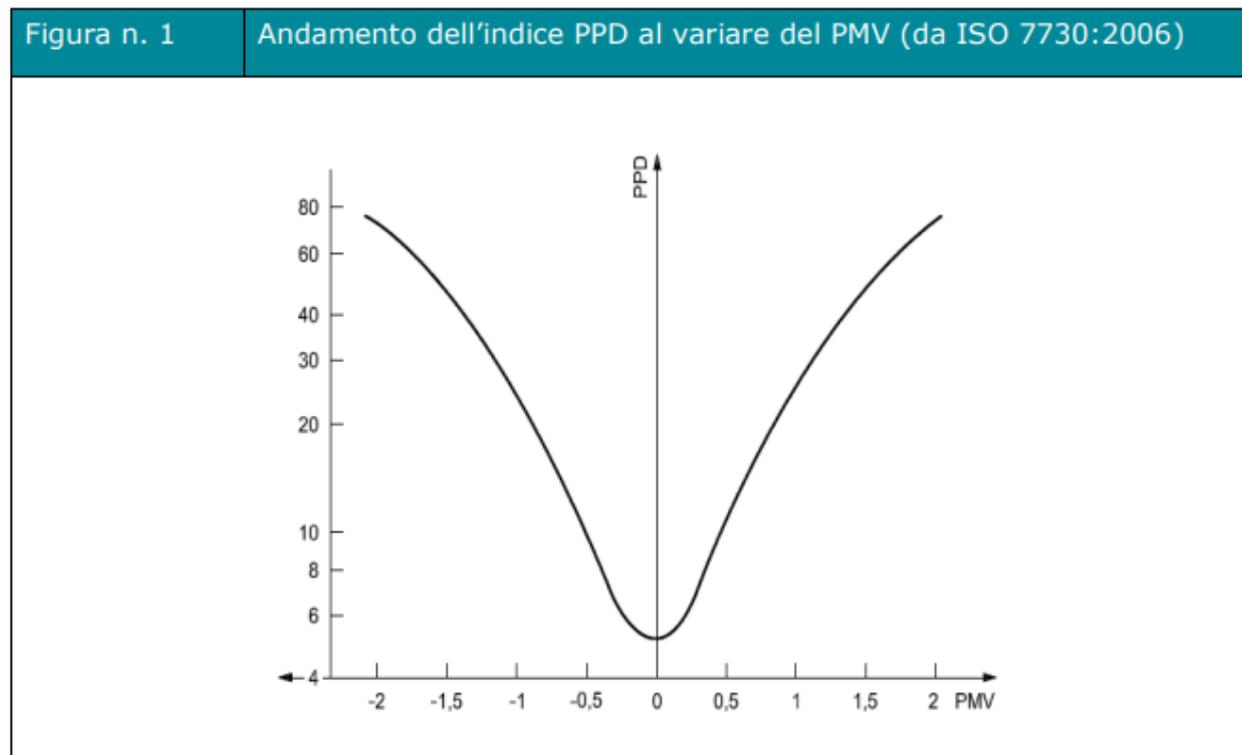


Fig. 8 – “Tabella n.2” sono i limiti della teoria del Fanger

Fig. 9 – “Figura 1” rappresentazione della curva a campana che lega l'indice del PPD al PMV

3.3 KPI: il consumo energetico ed il metodo D

Per fare un confronto tra diversi scenari è fondamentale stabilire dei criteri di confronto solidi e facili da comprendere. Per quanto riguarda le prestazioni energetiche si è scelto di considerare il consumo degli impianti di climatizzazione

mentre per quanto riguarda il comfort si è scelto di considerare il metodo D dell'Annex H contenuto nella norma UNI EN ISO 7730 per la valutazione del comfort a lungo termine.

Il parametro che si ricava seguendo il metodo D della suddetta norma è il PPD Medio nel tempo durante le ore in cui la zona è occupata.

4. IL SOFTWARE DI SIMULAZIONE NUMERICA

La modellazione su Dymola, una volta terminata l'analisi e schematizzazione del caso di studio, si è sviluppata attraverso diverse fasi: l'involucro edilizio e i collegamenti tra superfici ed ambienti confinanti, la definizione delle condizioni al contorno, l'impianto di climatizzazione ed il relativo controllo.

4.1 Ambiente di simulazione Dymola

Il metodo di modellazione scelto per sviluppare al meglio le tecniche di controllo è il linguaggio di modellazione Modelica, attraverso l'utilizzo del software Dymola. Il file di riferimento di partenza è un file .ifc poiché l'intero lavoro si svolgerà sulla ricerca di fattibilità nel muoversi in un ambiente openBIM.



Fig. 10 - Logo del software Dymola di Dassault Systems

Dal file di riferimento sono state possibili ricavare la totalità delle informazioni relative all'involucro edilizio, sotto questo aspetto un file .ifc si può dire che è completo delle informazioni necessarie.

Modelica Buildings ci fornisce due metodi per modellare una stanza, quindi un ambiente:

1. "MixedAir" che simula un mixaggio dell'aria all'interno dell'ambiente istantaneo.
2. " CFD" simula il galleggiamento e lo scambio di calore dell'aria attraverso delle analisi numeriche per il problema fluidodinamico. Per lo scopo della tesi si è scelto il blocco Mixed Air perché considerato più adatto.

Per creare un blocco di un modello di Buildings.Rooms.MixedAir:

1. crea un blocco MixedAir della stanza nel tuo modello.
2. creare istanze di costruzioni dal pacchetto Buildings.HeatTransfer.Data.OpaqueConstructions per modellare costruzioni opache come pareti, pavimenti, soffitti e tetti.

3. creare un pacchetto di costruzioni dal pacchetto Buildings.HeatTransfer.Data.GlazingSystems per modellare i sistemi vetrati.
4. inserire i parametri della stanza.

Per modellare l'involucro della Room è possibile definire 5 tipi di costruzioni. Nella tabella 6 troviamo le caratteristiche di ogni tipologia costruttiva: nella prima colonna è definito il nome della tipologia che troviamo all'interno della room. Nella seconda la descrizione relativa a quella tipologia.

Nome tipologia	Descrizione
datConEXT	Costruzioni esterne senza finestre
datConExtWin	Costruzioni esterne che hanno una finestra. Ogni costruzione di questo tipo deve avere una finestra. All'interno della stessa stanza, tutte le finestre possono avere un'ombra interna, un'ombra esterna o nessuna ombra. Ogni finestra ha il proprio segnale di controllo per l'ombra. Questo segnale è esposto dalla porta uSha, che ha le stesse dimensioni del numero di finestre. I valori per uSha devono essere compresi tra 0 e 1. Impostare uSha=0 per aprire la tendina e uSha=1 per chiudere la tendina. Le finestre possono anche avere una sporgenza, alette laterali, entrambe (sporgenza e alette laterali) o nessun dispositivo di ombreggiatura esterno.
datConPar	Costruzioni interne come pareti divisorie all'interno di una stanza. Entrambe le superfici di questa costruzione sono all'interno del modello della stanza e partecipano all'equilibrio della radiazione infrarossa e solare. Poiché il fattore di vista tra queste superfici è zero, non c'è radiazione infrarossa da una superficie all'altra della stessa costruzione.
datConBou	Costruzioni che espongono condizioni al contorno che permettono di modellare lo scambio di calore all'esterno della stanza. La superficie in corrispondenza della porta opa_b è collegata ai modelli per convezione e scambio di radiazione solare con questo modello di ambiente e con le altre superfici di questo modello di ambiente. La superficie della porta opa_a è collegata alla porta surf_conBou di questo modello di camera. Questo potrebbe essere utilizzato, ad esempio, per modellare un pavimento all'interno di questa stanza e collegarlo all'altro lato del modello di pavimento a un modello che calcola il trasferimento di calore nel terreno.
surBou	Superfici opache di questo modello di stanza il cui trasferimento di calore attraverso la costruzione è modellato al di fuori di questo modello di stanza. Questo oggetto è modellato utilizzando un record di dati che contiene l'area, le emissività solare e infrarossa e l'inclinazione della superficie. La superficie partecipa quindi al bilancio termico per convezione e irraggiamento del modello ambiente. La portata di calore e la temperatura di questa superficie sono esposte alla porta di calore surf_surBou. Un'applicazione di questo oggetto potrebbe essere quella di collegare la porta surf_surBou del modello di camera con la porta surf_conBou di un altro modello di camera per accoppiare due modelli di camera. Un'altra applicazione sarebbe modellare un soffitto radiante all'esterno di questo modello di stanza e collegare la sua superficie alla porta surf_conBou in modo che il modello di soffitto radiante partecipi al bilancio termico di questa stanza.

Tab. 1.Mixed air room data

4.2 La modalità di analisi dati in ambiente Dymola

Si è scelto di definire 5 pacchetti di materiali:

- 1) MA – Muro adiabatico: è il pacchetto murario che definisce il muro che non contiene bucatore
- 2) F – Facciata esterna: muro che contiene bucatore quali porte e finestre
- 3) T – Tramezzo di partizione interna: pacchetto murario che divide le zone interne dell'edificio
- 4) S – Solaio di interpiano: pacchetto di solaio che viene utilizzato per modellare il pavimento radiante
- 5) C – Solaio di copertura: solaio con isolante per esposizione ad agenti atmosferici

Wall	Material	Thickness [m]
MA	Intonaco di calce	0,02
	Isolante Polistirene	0,08
	Cartongesso	0,04
	Aria	0,1
	Intonaco di calce	0,015
	Forati	0,115
	Intonaco di calce	0,015
	Aria	0,05
	Cartongesso	0,015

Tab. 2. Party wall package

Wall	Material	Thickness [m]
F	Intonaco di calce	0,02
	Isolante Polistirene	0,08
	Forati	0,115
	Intonaco di calce	0,015
	Aria	0,05
	Cartongesso	0,015

Tab. 3. Facade package

Wall	Material	Thickness [m]
T	Cartongesso	0,015
	Lana di roccia	0,046
	Cartongesso	0,015

Tab. 4. Interior wall package

Roof	Material	Thickness [m]
C	Massetto di sottofondo	0,18
	Isolante polistirene	0,08
	ClS	0,3

Tab. 5.Roof package

Slab	Material	Thickness [m]
S	Finitura_gres	0,02
	Massetto Foamcem	0,15
	Solaio Laterocemento	0,27
	cls_finitura	0,015

Tab. 6.Slab package

Per poter avviare una simulazione energetica è necessario reperire delle informazioni relative al modello.

Si evidenziano in diversi colori i diversi dati in base alla condizione di reperibilità in file .IFC in questa maniera:

- NEUTRALE i dati facilmente reperibili in file .IFC
- **IN GIALLO** i dati per il quale è stato richiesto un calcolo manuale o automatizzato che sia
- **IN ROSSO** la non reperibilità delle informazioni in file .IFC

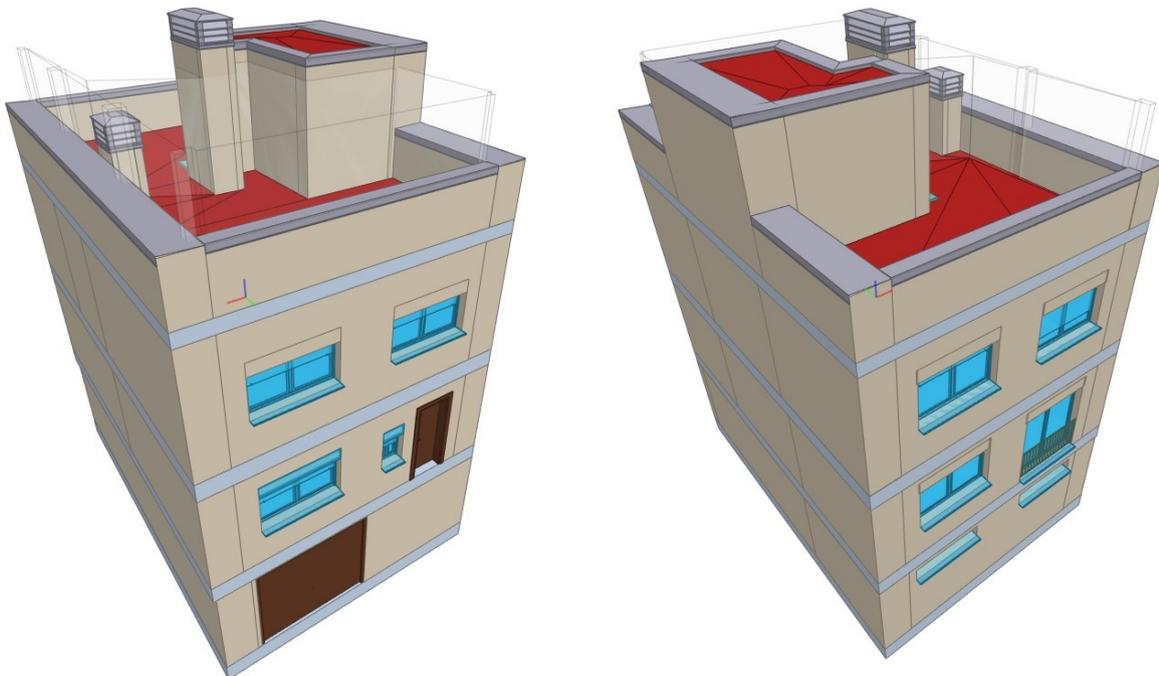


Fig. 11.BIM Vision view 1

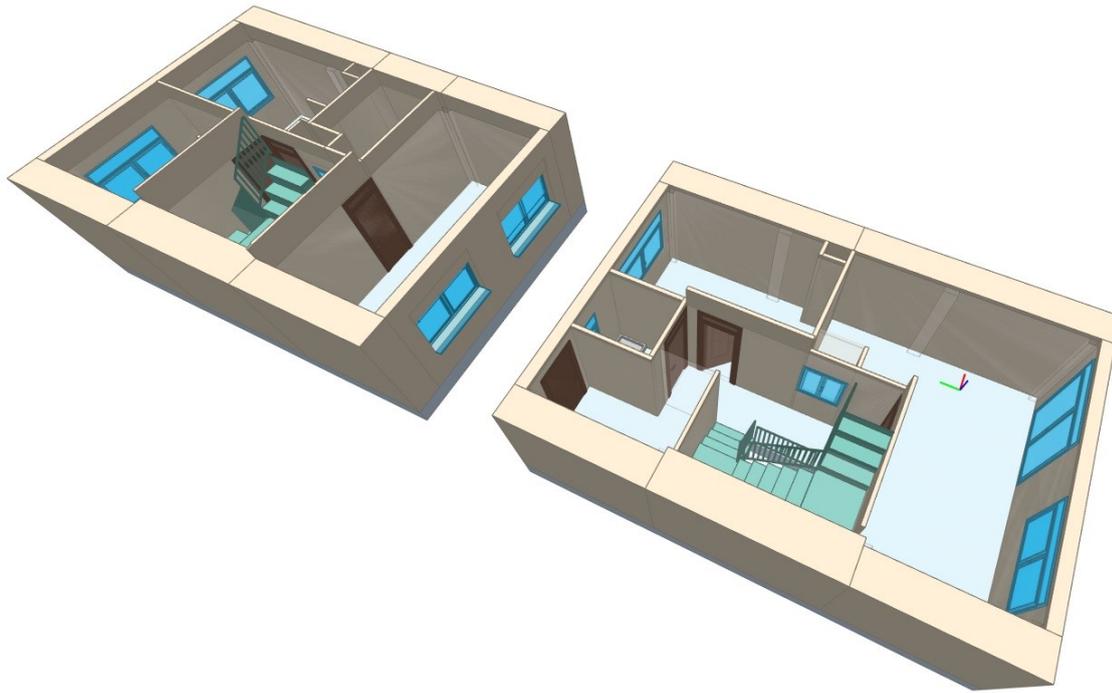


Fig. 12. BIM Vision view 2

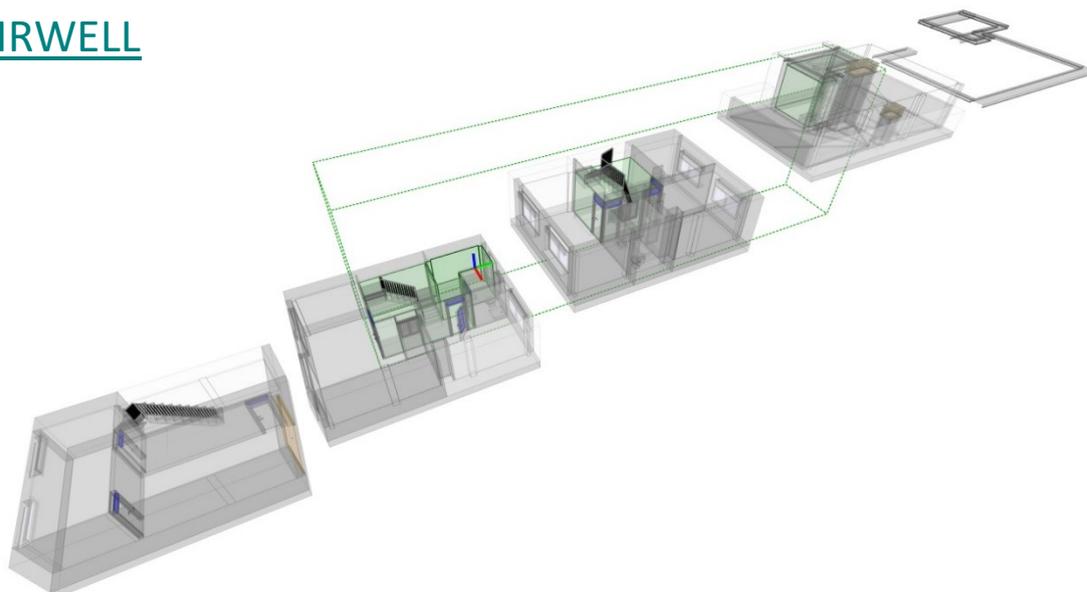
Di seguito in Tab.12 possiamo notare le aree di ogni zona di cui vogliamo controllare gli impianti. I dati sono quelli richiesti dal modello Mixed Air di modelica ovvero il nome, l'area, l'altezza e il numero di connessioni che il modello di simulazione si aspetta in base alla tipologia.

Level	Room	AFloo	hRoo	nConExt	nConExtWin	nConBou	nsurBou
0-1-2	Stairwell	(Media 3 Floors)= 10,5	8,558	9	0	0	8
0	Bathroom	2,368	2,438	0	1	2	3
0	Kitchen	11,144	2,438	1	1	1	3
0	Living Room	21,908	2,438	2	1	3	2
1	Bedroom 3	9,021	2,438	2	1	1	2
1	Bedroom 2	11,072	2,438	2	1	2	1
1	Bathroom 1	4,312	2,438	2	0	1	3
1	Bedroom 1	17,232	2,438	3	1	1	1

Tab. 7. IFC data

Di seguito possiamo notare nelle figure successive la localizzazione della stanza (in Verde) all'interno dell'edificio con la rispettiva tabella nella quale vengono riportati i dati necessari per la modellazione della room in modelica.

STAIRWELL



Level	Type	Room	Element	Material	Azimuth	Area	glaSys	hWin	wWin	fFra	Cod.	[n]	[n]	Link
0	datConExt	Stairwell	Wall	F	North	3,574	0	0	0	0				
0	datConExt	Stairwell	Wall	MA	West	15,075	0	0	0	0				
1	datConExt	Stairwell	Wall	MA	West	7,84	0	0	0	0				
2	datConExt	Stairwell	Wall	F	North	4,212	0	0	0	0				
2	datConExt	Stairwell	Wall	F	North	2,02	0	0	0	0				
2	datConExt	Stairwell	Wall	F	East	7,837	0	0	0	0				
2	datConExt	Stairwell	Wall	F	South	6,232	0	0	0	0				
2	datConExt	Stairwell	Wall	MA	West	7,837	0	0	0	0				
2	datConExt	Stairwell	Ceiling	C		6,318	0	0	0	0				
0	surConBou	Stairwell	Wall	T	East	4,321	0	0	0	0	SW0	1		
0	surConBou	Stairwell	Wall	T	North	3,658	0	0	0	0	SW1	2		
0	surConBou	Stairwell	Wall	T	East	10,939	0	0	0	0	SW2	3		
0	surConBou	Stairwell	Wall	T	South	7,095	0	0	0	0	SW3	4		
1	surConBou	Stairwell	Wall	T	North	7,105	0	0	0	0	SW4	5		
1	surConBou	Stairwell	Wall	T	East	7,836	0	0	0	0	SW5	6		
1	surConBou	Stairwell	Wall	T	South	7,11	0	0	0	0	SW6	7		
0	surConBou	Stairwell	Floor			15,787	0	0	0	0	SW7	8		Slab_0(up)

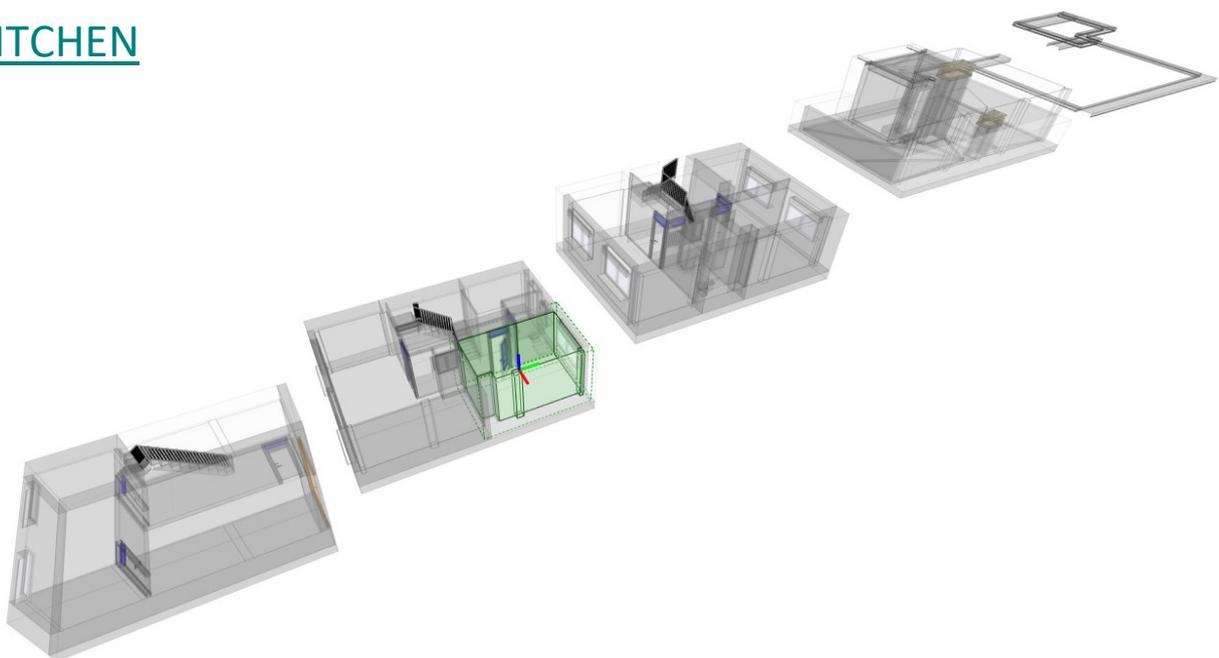
Fig. 13. Stairwell

La tabella relativa alla Fig.1 è stata creata su Excel per semplificare la compilazione della room MixedAir; in ogni tabella vengono incolonnati i valori riferiti a queste categorie :

- Level : Piano di riferimento dell'edificio
- Type : Tipologia di costruzione secondo il linguaggio della Buildings Modelica Library
- Room : Modello "Mixed Air" di riferimento
- Element : Tipologia di costruzione secondo un file .IFC
- Material : Pacchetto di materiali utilizzati per la costruzione di riferimento
- Azimuth : Orientamento di esposizione della superficie esterna
- Area : misura ,in m², dell'area di superficie
- glaSys : Pacchetto di materiali utilizzato per i sistemi vetriati

- hWin : Altezza della finestra
- wWin : Larghezza della finestra
- fFra : Rapporto tra l'area del telaio e tutta l'area della finestra stessa
- Cod. : Codice assegnato arbitrariamente per semplificazione
- [n] (1) : Collegamento interno assegnato alla costruzione di riferimento se appartenente alle categorie datConBou o surConBou
- [n] (2) : Collegamento ad una superficie e costruzione esterna
- Link : Cod. di riferimento della costruzione esterna collegata

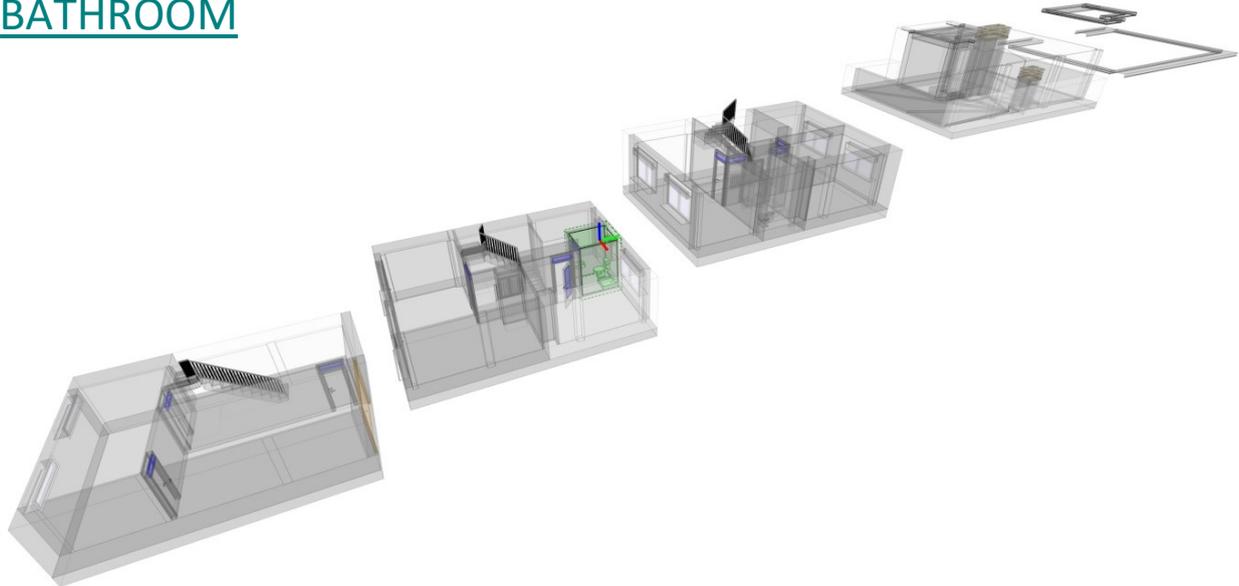
KITCHEN



Level	Type	Room	Element	Material	Azimuth	Area	glaSys	hWin	wWin	fFra	Cod.	[n]	[n]	Link
0	datConExtWin	Kitchen	Wall	F	North	6,511	GW		1,25	1,89	0,3			
0	datConExt	Kitchen	Wall	Ma	East	11,051	0	0	0	0				
0	datConBou	Kitchen	Wall	T	West	10,48	0	0	0	0	KW0	1	1	BW0
0	surConBou	Kitchen	Wall	T	South	6,405	0	0	0	0	KW1	1		
0	surConBou	Kitchen	Floor			11,144	0	0	0	0	KF0	2		Slab_2(up)
0	surConBou	Kitchen	Ceiling			11,13	0	0	0	0	KC0	3		Slab_5(down)

Fig. 14.Kitchen

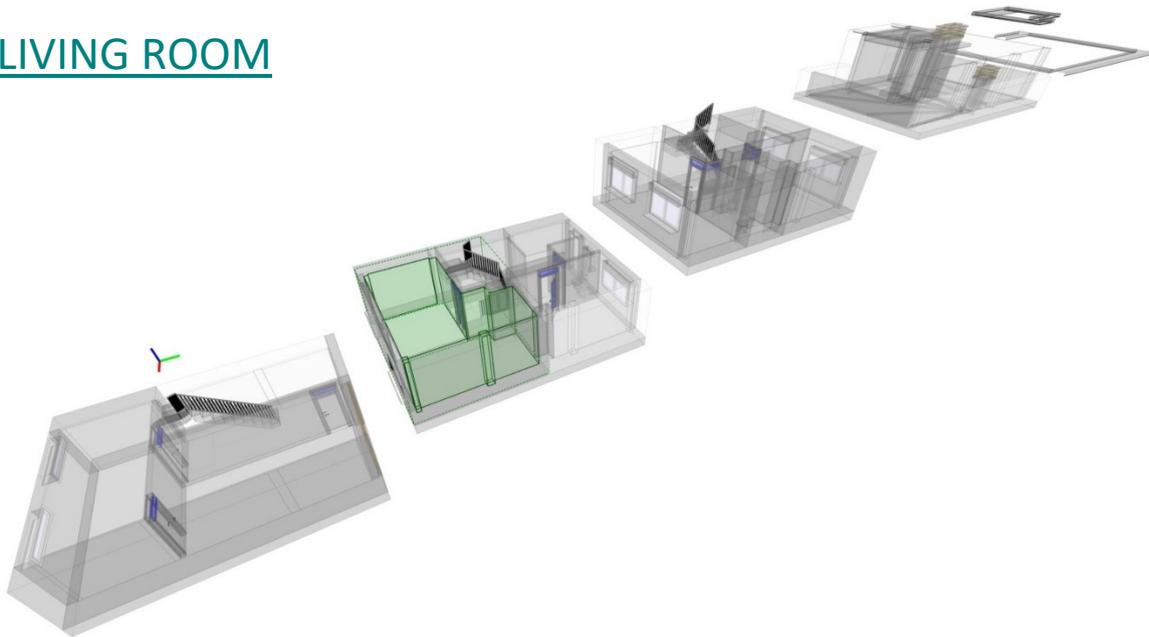
BATHROOM



Level	Type	Room	Element	Material	Azimuth	Area	glaSys	hWin	wWin	fFra	Cod.	[n]	[n]	Link
0	datConExtWin	Bathroom	Wall	F	North	3,424	GW		1,06	0,57	0,3			
0	datConBou	Bathroom	Wall	T	South	4,112	0		0	0	0 BW1	1	2	SW1
0	datConBou	Bathroom	Wall	T	West	3,424	0		0	0	0 BW2	2	1	SW0
0	surConBou	Bathroom	Wall	T	East	4,112	0		0	0	0 BW0	1		
0	surConBou	Bathroom	Floor			2,368	0		0	0	0 BF0	2		Slab_1(up)
0	surConBou	Bathroom	Ceiling			2,368	0		0	0	0 BC0	3		Slab_4(down)

Fig. 15. Bathroom

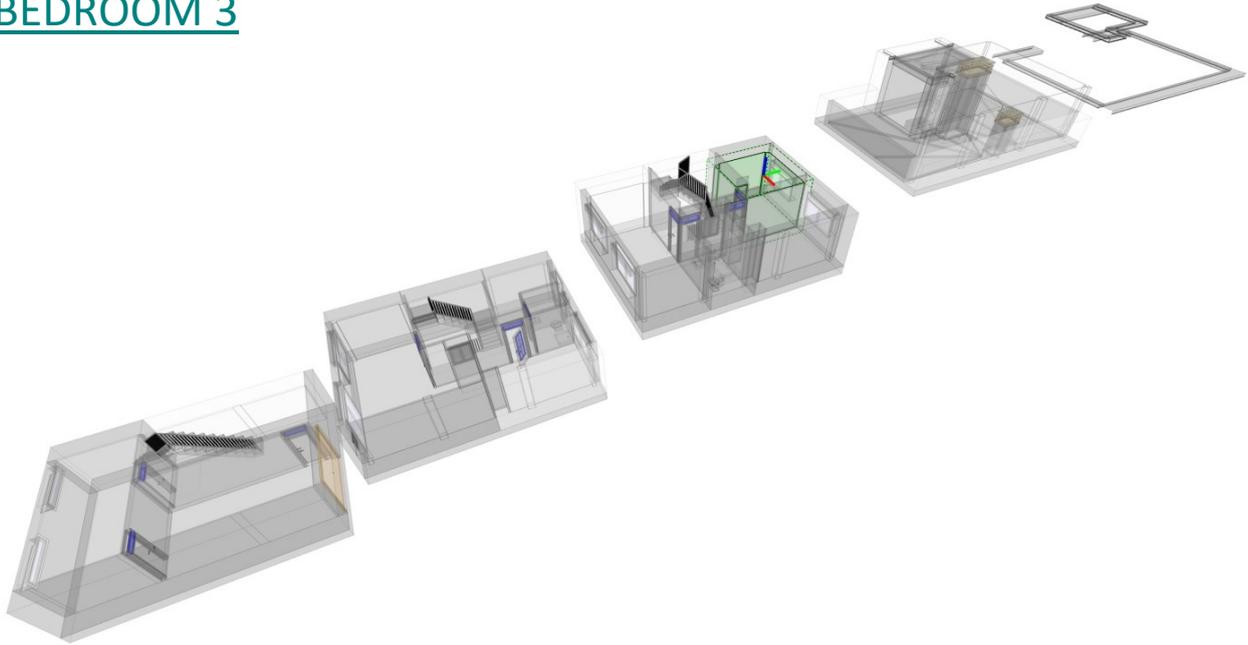
LIVING ROOM



Level	Type	Room	Element	Material	Azimuth	Area	glaSys	hWin	wWin	fFra	Cod.	[n]	[n]	Link
0	datConExtWin	Living Room	Wall	F	South	13,534	GW	$(1,435+2,33)/2=$	$(1,89+1,9)/2$	0,3				
0	datConExt	Living Room	Wall	MA	East	12,065	0		0	0	0			
0	datConExt	Living Room	Wall	MA	West	7,309	0		0	0	0			
0	datConBou	Living Room	Wall	T	North	7,417	0		0	0	0 LW0	1	4	SW3
0	datConBou	Living Room	Wall	T	North	6,432	0		0	0	0 LW1	2	1	KW1
0	datConBou	Living Room	Wall	T	West	4,756	0		0	0	0 LW2	3	3	SW2
0	surConBou	Living Room	Floor			21,908					LF0	1		Slab_3(up)
0	surConBou	Living Room	Ceiling			21,908					LC0	2		Slab_7(down),Slab_6(down)

Fig. 16. Living Room

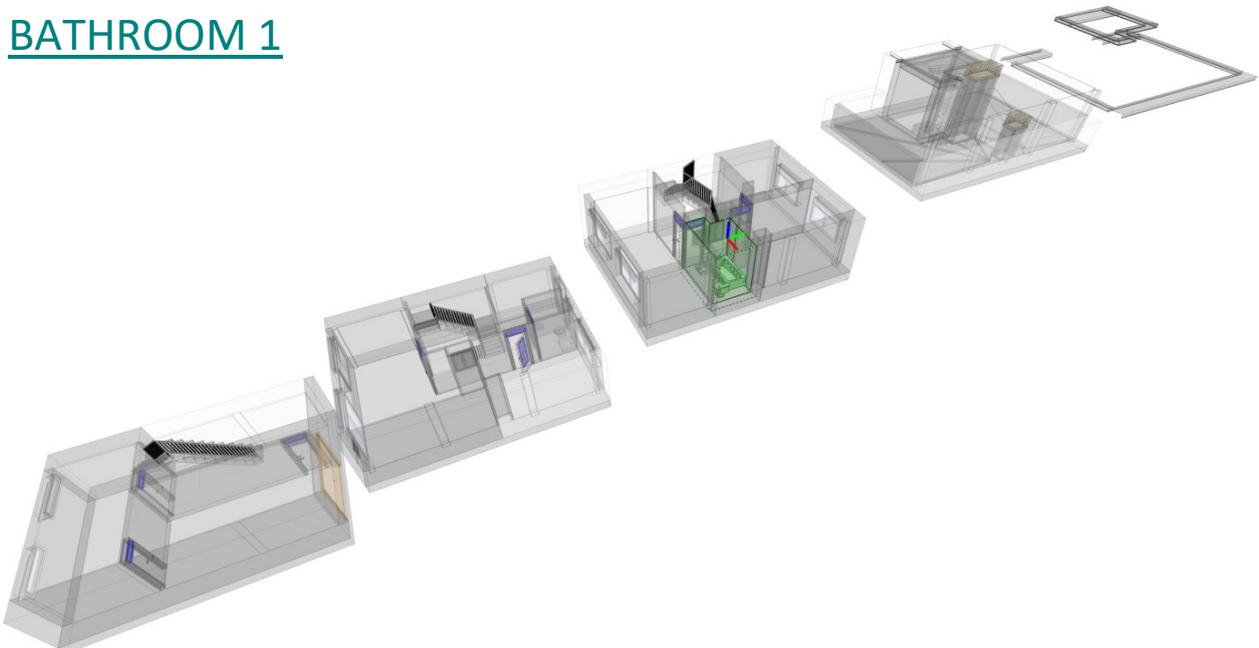
BEDROOM 3



Level	Type	Room	Element	Material	Azimuth	Area	glaSys	hWin	wWin	fFra	Cod.	[n]	[n]	Link
1	datConExtWin	Bedroom 3	Wall	F	North	7,247	GW		1,25	1,89	0,3			
1	datConExt	Bedroom 3	Wall	MA	West	7,27	0	0	0	0				
1	datConExt	Bedroom 3	Ceiling	C		9,021	0	0	0	0				
1	datConBou	Bedroom 3	Wall	T	South	7,062	0	0	0	0	B3W0	1	5	SW4
1	surConBou	Bedroom 3	Wall	T	East	7,27	0	0	0	0	B3W1	1		
1	surConBou	Bedroom 3	Floor			9,021	0	0	0	0	B3F0	2		Slab_4(up)

Fig. 17. Bedroom 3

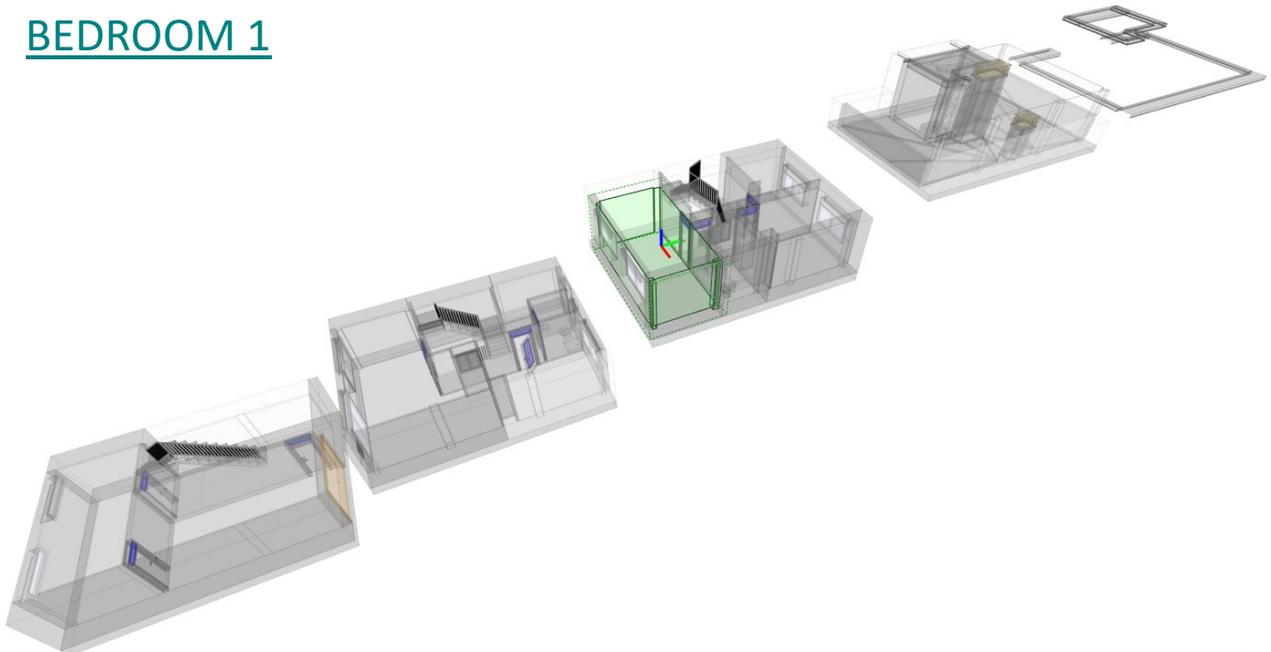
BATHROOM 1



Level	Type	Room	Element	Material	Azimuth	Area	glaSys	hWin	wWin	fFra	Cod.	[n]	[n]	Link
1	datConExt	Bathroom 1	Wall	MA	East	4,438	0	0	0	0				
1	datConExt	Bathroom 1	Ceiling	C		4,312	0	0	0	0				
1	datConBou	Bathroom 1	Wall	T	West	4,438	0	0	0	0	B1W0	1	6	SW5
1	surConBou	Bathroom 1	Wall	T	South	6,39	0	0	0	0	B1W1	1		
1	surConBou	Bathroom 1	Wall	T	North	6,229	0	0	0	0	B1W2	2		
1	surConBou	Bathroom 1	Floor			4,312	0	0	0	0	B1F0	3		Slab_6(up)

Fig. 18. Bathroom 1

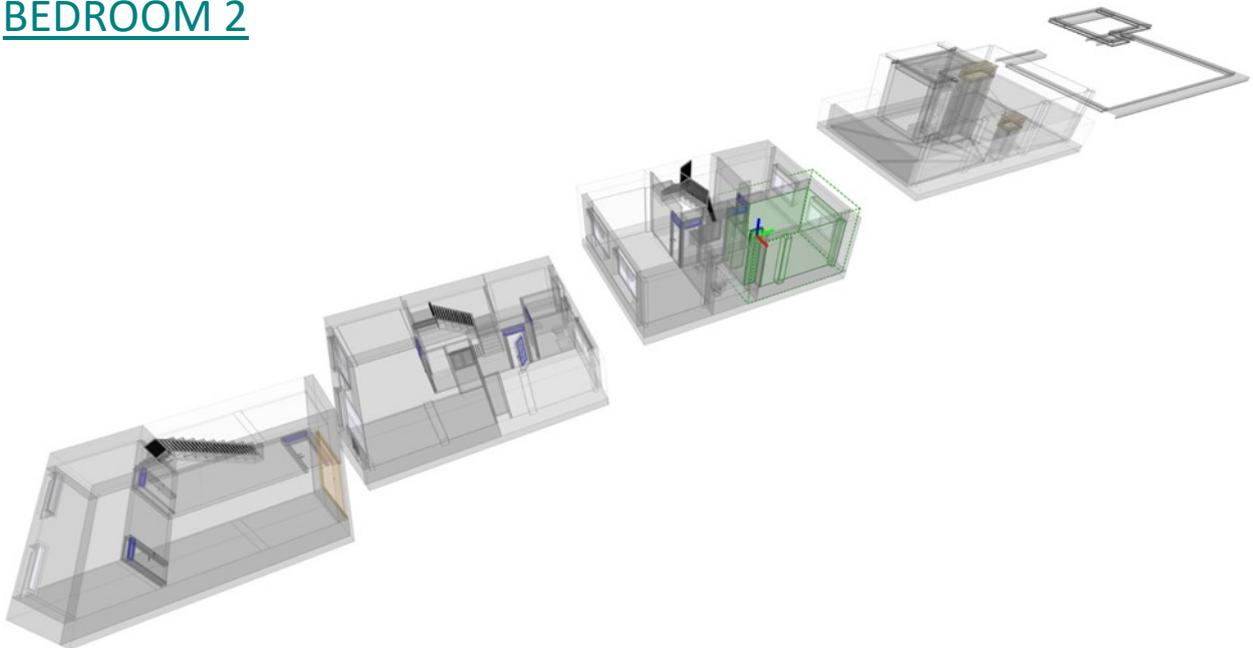
BEDROOM 1



Level	Type	Room	Element	Material	Azimuth	Area	glaSys	hWin	wWin	fFra	Cod.	[n]	[n]	Link
1	datConExtWin	Bedroom 1	Wall	F	South	13,534	GW	(1,435+1,435)	(1,9+1,9)	0,3				
1	datConExt	Bedroom 1	Wall	MA	East	7	0	0	0	0				
1	datConExt	Bedroom 1	Wall	MA	West	7	0	0	0	0				
1	datConExt	Bedroom 1	Ceiling	C		17,232	0	0	0	0				
1	datConBou	Bedroom 1	Wall	T	North	13,534	0	0	0	0	BHW0	1	7,1	SW6,B1W1
1	surConBou	Bedroom 1	Floor			17,232	0	0	0	0	BHF0	1		Slab_7(up)

Fig. 19. Bedroom 1

BEDROOM 2



Level	Type	Room	Element	Material	Azimuth	Area	glaSys	hWin	wWin	fFra	Cod.	[n]	[n]	Link
1	datConExtWin	Bedroom 2	Wall	F	North	6,833	GW	1,25	1,89	0,3				
1	datConExt	Bedroom 2	Wall	MA	East	9,284	0	0	0	0				
1	datConExt	Bedroom 2	Ceiling	C		11,072	0	0	0	0				
1	datConBou	Bedroom 2	Wall	T	South	6,229	0	0	0	0	B2W0	1	2	B1W2
1	datConBou	Bedroom 2	Wall	T	West	10,054	0	0	0	0	B2W1	2	1,6	B3W1,SW5
1	surConBou	Bedroom 2	Floor			11,072	0	0	0	0	B2F0	1		Slab_5(up)

Fig. 20. Bedroom 2

4.3 Le librerie per la simulazione ed il controllo

Tra gli strumenti utilizzati per sviluppare la modellazione si evidenzia l'uso di pacchetti preassemblati di blocchi della libreria standard di Modelica (Modelica Standard Library). Esiste una libreria open-source sviluppata dal Berkeley Lab chiamata Modelica Buildings Library.



Fig. 21 - Logo della libreria Modelica Buildings

La libreria Modelica Buildings è una libreria open source gratuita con modelli di simulazione dinamica per i sistemi energetici e di controllo degli edifici. L'uso principale della libreria è la modellazione flessibile e veloce dei sistemi a basso consumo energetico per edifici nuovi ed esistenti. Lo sviluppo della modellazione ha visto come passaggio manuale intermedio la schematizzazione delle informazioni ricavate dal file .ifc attraverso un foglio Excel; tale passaggio ha permesso di schematizzare le informazioni essenziali per la modellazione come le aree, le connessioni, le tipologie di entities ma soprattutto essere più veloce nella compilazione delle rooms di Modelica.

4.4 La modellazione dell'edificio EDEA

L'involucro edilizio è stato modellato definendo dettagliatamente le zone da controllare all'interno dell'edificio. La modellazione di una singola room è stata fatta definendo in primis i pacchetti di materiali come di può vedere in Fig. 26.

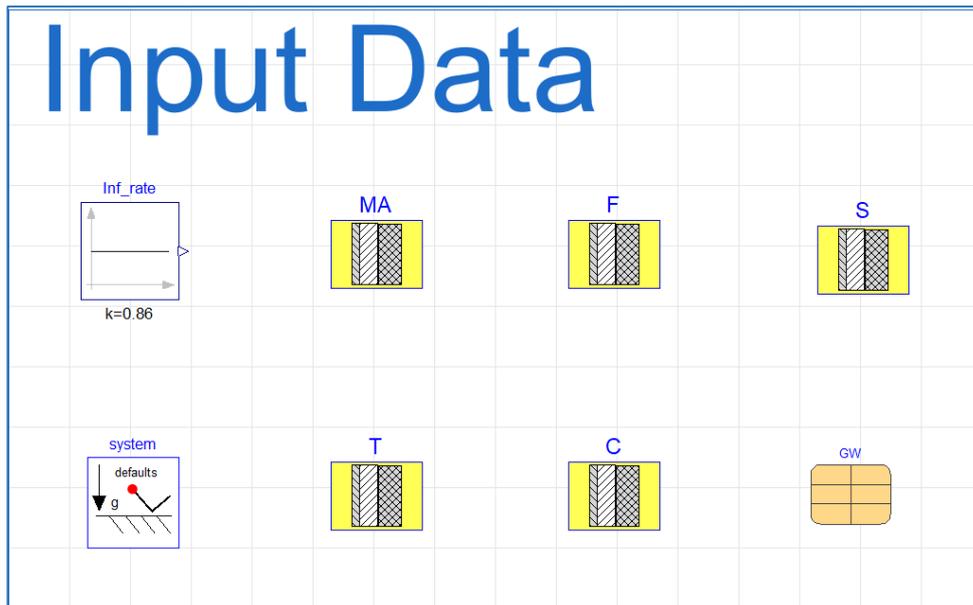


Fig. 22. Input data for rooms model

In Fig.27 è possibile notare come il solaio di calpestio sia stato modellato. Si evidenzia come un file .IFC sia completo per la definizione di un elemento del genere.

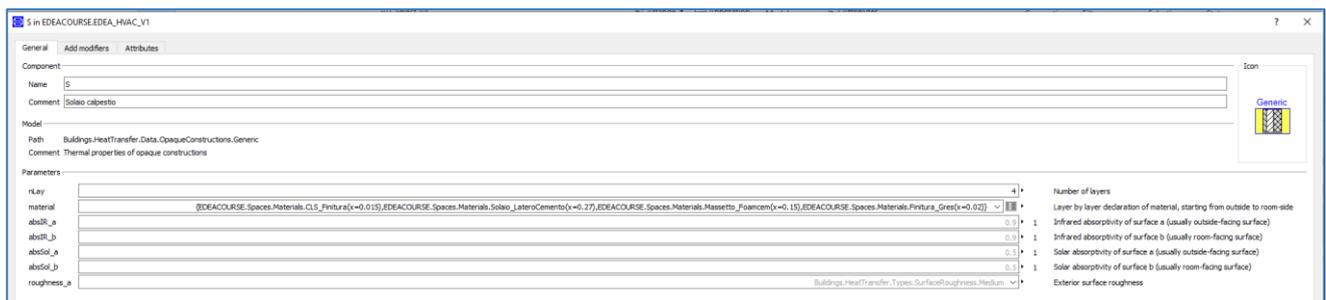


Fig. 23. Floor package

Nel caso dell'edificio in esame si è dovuto integrare un impianto di riscaldamento all'interno dell'involucro, il pannello radiante a pavimento. Come si può vedere in Fig.28 l'impianto a pavimento necessita di informazioni non semplici da rilevare come ad esempio il layer di posizionamento delle tubazioni all'interno del pacchetto di riferimento e la distanza tra le stesse tubazioni.

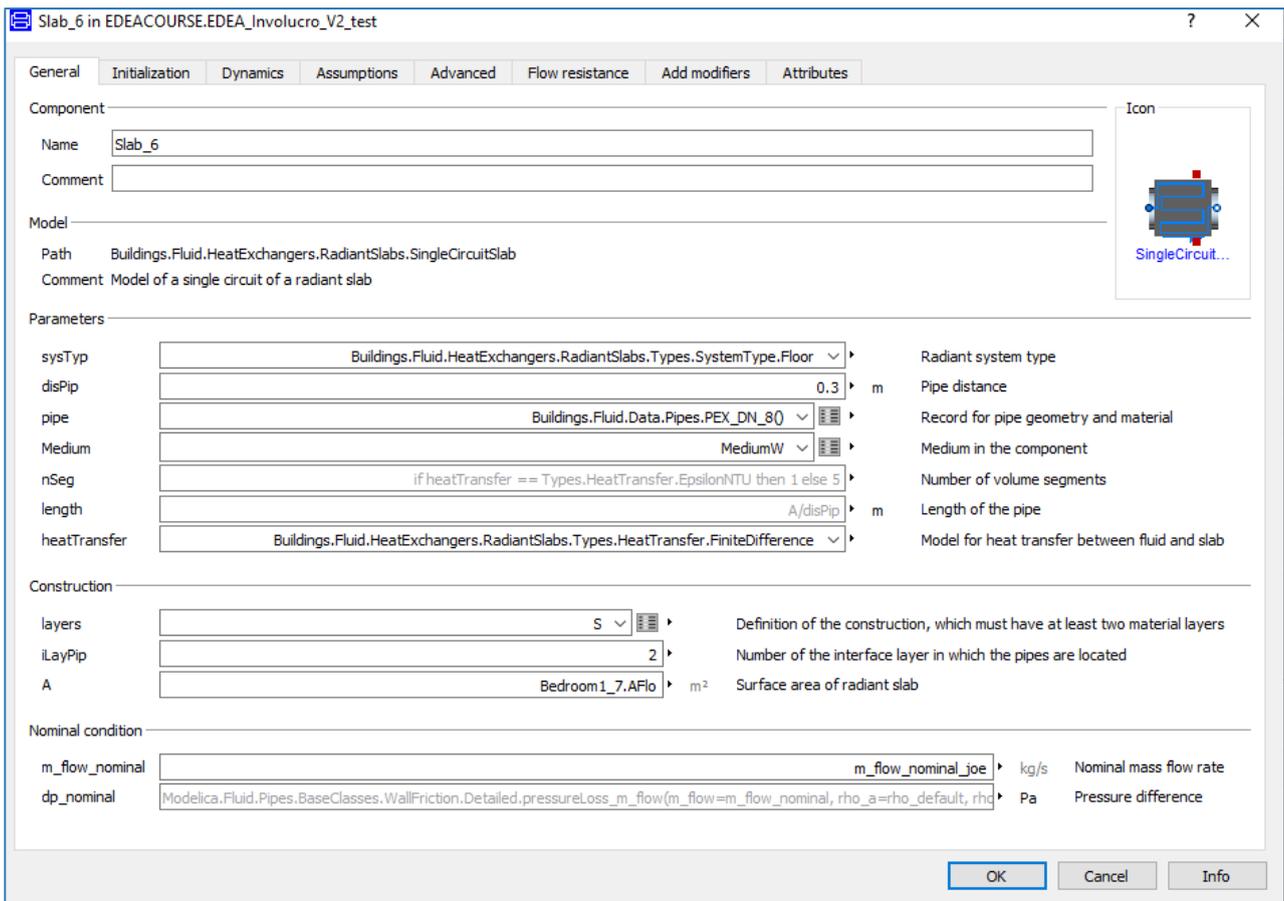


Fig. 24. Radiant slab parameters

Il pannello radiante è stato collegato termicamente alla room attraverso le Heat Ports in particolar modo definendo un'area all'interno della room come un "surBou" e collegando la porta superiore della slab(surf_a) alla stessa. Come si può notare in Fig.29 il pacchetto "SingleCircuitSlab" contenuto nella libreria Buildings è dotato di due porte di trasmissione del calore, per cui i pavimenti al piano terra sono stati collegati alla room come già è stato detto per la parte superiore; la porta inferiore, invece, è stata collegata al terreno attraverso una porta di trasmissione del calore che teneva conto della variazione di temperatura del terreno, definita dal file meteo, durante tutto l'anno.

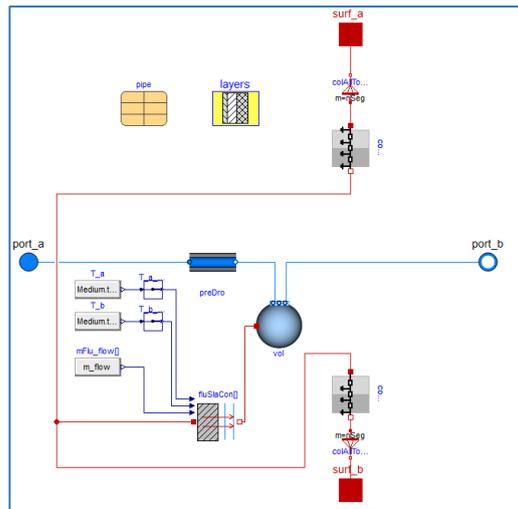


Fig. 25. SingleCircuitSlab diagram

La modellazione dei solai di interpiano è stata fatta definendo un'area nelle room al piano terra come "ceiling" (soffitto) e collegandola alla porta inferiore delle slabs di interpiano corrispondenti. Per la porta superiore è stata definita un'area di tipo "floor" nelle rooms del primo piano.

In Fig.30 è rappresentato come il pavimento radiante sia stato collegato alla room.

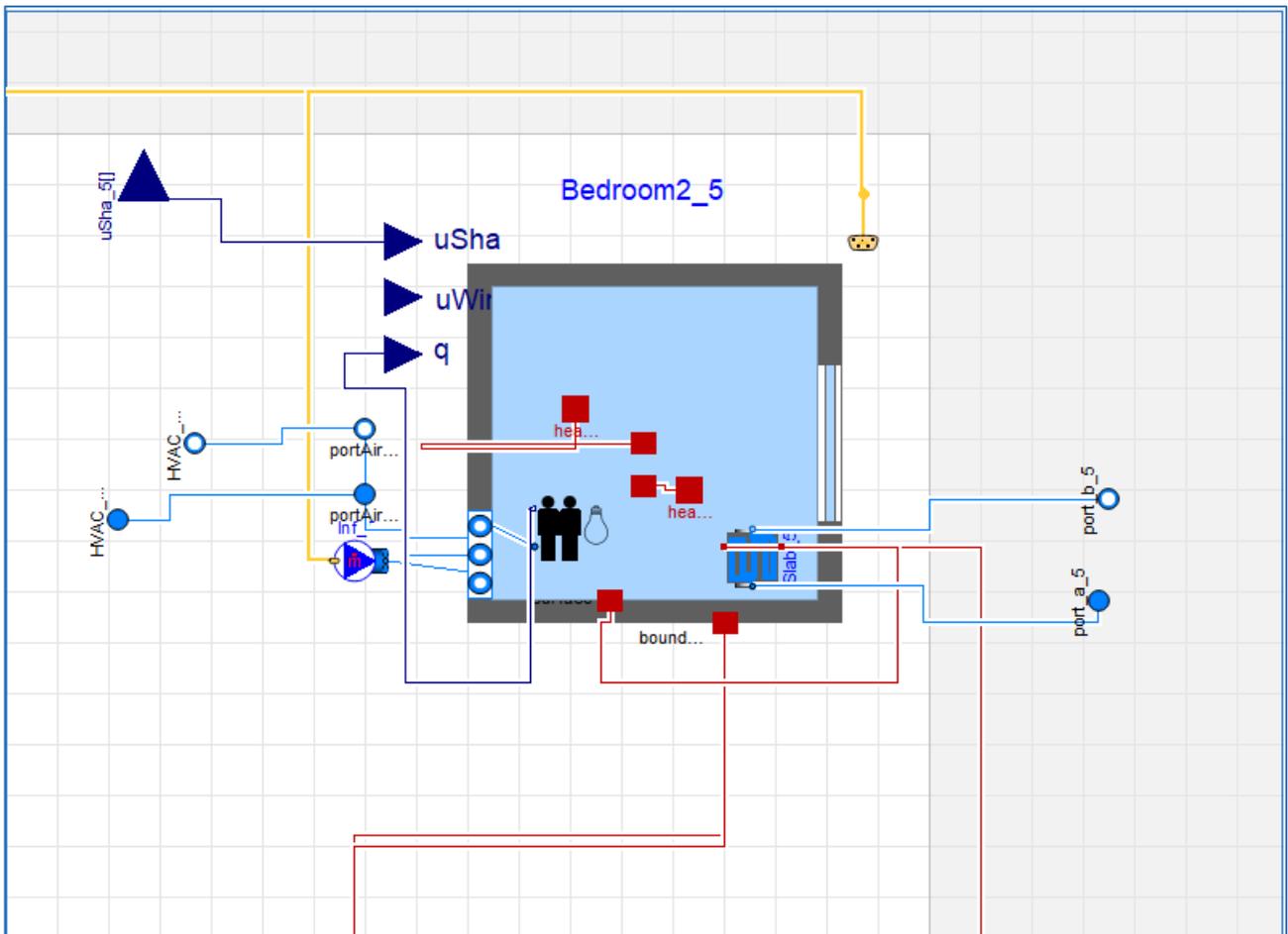


Fig. 26. Dymola MixedAir, diagram view

Nelle tabelle rappresentate nelle figure da 18 a 25 è possibile notare come sul foglio Excel è stata assegnata una sigla per ogni tipo di area; ciò ha permesso di codificare ogni singolo elemento in modo semplice ed unico e in un secondo momento collegare (vedi colonna "Link") velocemente le superfici tra loro.

In Fig. 31 sono rappresentate le zone di controllo ed i rispettivi collegamenti tra loro; esse sono state disposte in funzione del piano di riferimento: le zone al piano superiore sono le prime quattro in alto mentre le restanti in basso al piano terra. Si può notare come le slabs del piano terra siano state collegate, attraverso la loro connessione surf_b, al generatore di calore del terreno di fondazione a sua volta collegato al file meteo.

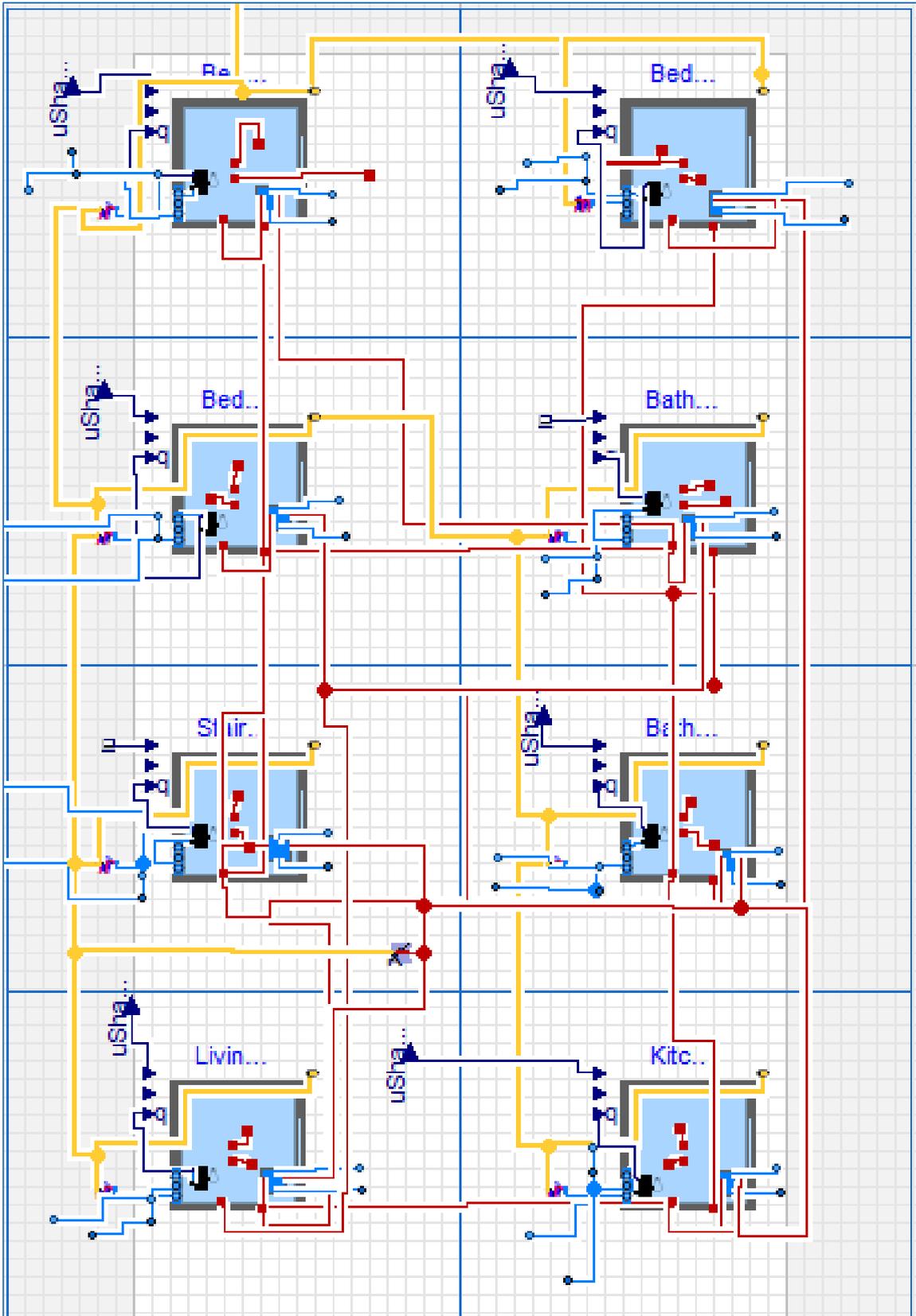


Fig. 27. Dymola model without HVAC System

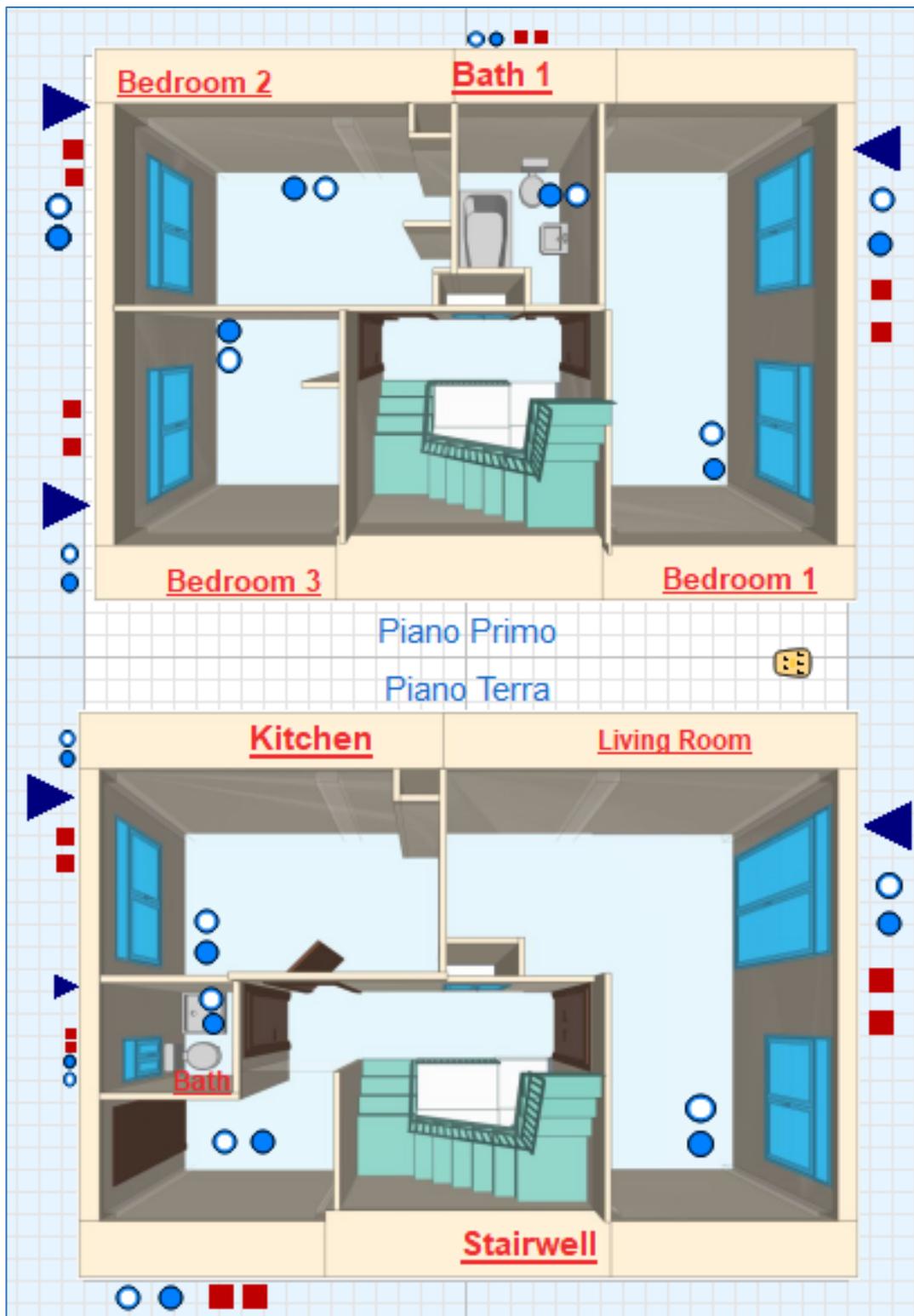


Fig. 28. Building envelope icon

In Fig. 32 è rappresentata la vista dell'involucro con le relative connessioni funzionali per gli impianti di climatizzazione. Si indicano le connessioni "interne" alle stanze come i collegamenti all'impianto di riscaldamento a pavimento mentre

le connessioni “esterne” si riferiscono a quelle dell’aria, le heat ports e la gestione dello shading.

Per rendere il modello il più attendibile possibile la definizione delle condizioni al contorno è un passaggio fondamentale per rendere il modello aderente alla realtà; valori come l’occupazione, il file meteo, la portata d’aria che si immette all’interno dell’edificio per via delle infiltrazioni, il calore trasmesso dagli apparati illuminanti possono influenzare non poco la veridicità dei KPI (Key Performance Indicator). Per questo edificio non si sono presentati problemi di questo genere poiché la documentazione era al quanto sufficiente. Un esempio si evince dal parametro di occupazione dove tra le relazioni tecniche è stato possibile ricavare la proporzione tra la trasmissione di calore latente e sensibile. Anche il dato dell’illuminazione non è stato complicato inserire, come si può vedere in Fig.33 dove sono riportati i dati relativi all’occupazione, l’illuminamento e i ricambi orari d’aria.

- **Ocupación sensible:** Laborables (0,54w/m² de 8:00 a 15:00; 1,08 w/m² de 16:00 a 23:00; 2,15 w/m² de 24:00 a 7:00). Sábado y festivos (2,15 w/m²).
- **Ocupación Latente:** Laborables (0,34 w/m² de 8:00 a 15:00; 0,68 w/m² de 16:00 a 23:00; 1,36 w/m² de 24:00 a 7:00). Sábado y festivos (1,36 w/m²).
- **Iluminación:** (1,32 w/m² de 8:00 a 18:00; 2,20 w/m² 19:00; 4,40 w/m² de 20:00 a 23:00; 2,20 w/m² 24:00; 0,44 w/m² de 01:00 a 07:00).
- **Equipos:** (1,32 w/m² de 8:00 a 18:00; 2,20 w/m² 19:00; 4,40 w/m² de 20:00 a 23:00; 2,20 w/m² 24:00; 0,44 w/m² de 01:00 a 07:00).

La ventilación en los espacios viene determinada por:

- **Ventilación forzada:** 0,8 ren/h.
- **Ventilación verano apertura ventanas:** 4 ren/h de 1:00 a 8:00.
- **Espacios no habitables:** Instalaciones 0,5 ren/h. Garaje 1 ren/h.

Fig. 29. Excerpt from the technical report

Per l’inserimento dei dati relativi l’occupazione e l’illuminamento si è utilizzato il blocco “Internal Gains” di una libreria personalizzata. In esso è stato possibile definire parametri quali il rapporto area zona e area totale in modo da proporzionare gli apporti definiti globalmente dallo stralcio della relazione. In Fig.34 si nota il diagramma del blocco e le funzioni svolte al suo interno.

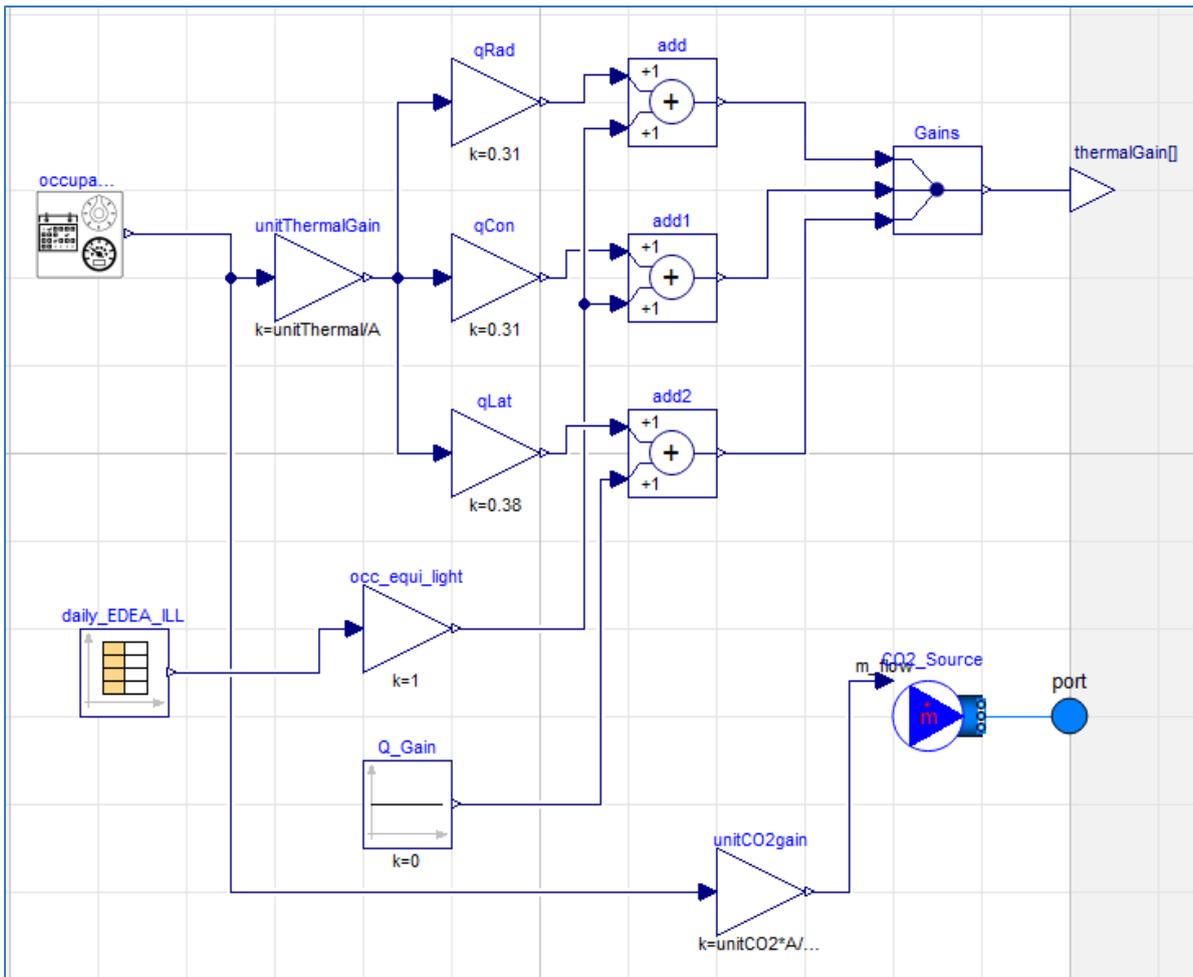


Fig. 30. Internal Gains block

Il file meteo è stato scaricato dalla libreria disponibile online presso il sito <http://energyplus.net/weather> ,scegliendo quello della stazione metereologica di “Caceres.082610”. Per poterlo leggere su Dymola occorre esportare il file scaricato da .epw a .mos; tale operazione è stata possibile attraverso le guide disponibili sul sito <https://simulationresearch.lbl.gov/> . In Fig.35 i dati estraibili da un file meteo.

Name	Unit	Description
HDifHor	W/m2	Horizontal diffuse solar radiation.
HDifNor	W/m2	Direct normal radiation.
HGloHor	W/m2	Horizontal global radiation.
HHorIR	W/m2	Horizontal infrared irradiation.
TBlasKy	K	Output temperature.
TDewPoi	K	Dew point temperature.
TDryBul	K	Dry bulb temperature at ground level.
TWetBul	K	Wet bulb temperature.
celHei	m	Ceiling height.
cloTim	s	One-based day number in seconds.
lat	rad	Latitude of the location.
lon	rad	Longitude of the location.
nOpa	1	Opaque sky cover [0, 1].
nTot	1	Total sky Cover [0, 1].
pAtm	Pa	Atmospheric pressure.
relHum	1	Relative humidity.
solAlt	rad	Altitude angle.
solDec	rad	Declination angle.
solHouAng	rad	Solar hour angle.
solTim	s	Solar time.
solZen	rad	Zenith angle.
windir	rad	Wind direction.
winspe	m/s	Wind speed.

Fig. 31. Weather data

In ultimo si è lasciato costante il valore relativo agli ombreggiamenti (shading). Tale valore ha range di ombreggiamento tra 0 (nessun ombreggiamento) e 1 (totale ombreggiamento). Nella modellazione si è scelto di lasciare tale parametro sul valore 0. Si evidenzia come la gestione di questo parametro può risultare efficace, in fase estiva, per ottenere una riduzione del consumo energetico all'interno di ogni singola zona di controllo.

L'impianto di climatizzazione che condiziona gli apporti di calore all'interno delle zone di controllo nella realtà è composto da delle pompe di calore esterne e delle VAV box all'interno dell'edificio. Non è risultato chiaro come avviene realmente la distribuzione dell'aria all'interno dell'edificio per cui si è optato per una semplificazione dell'impianto stesso, modellando delle singole UTA per ogni

ambiente in modo da rendere più efficace gli interventi di controllo e gestione. In sintesi, si è scelto di rinunciare ad una fedele modellazione dell'impianto per ottenere maggiori margini di manovra per quanto riguarda il controllo degli impianti di zona. In Fig. 36 si possono notare i controlli di ingresso elaborati dal blocco "con_0" e l'impianto HVAC.

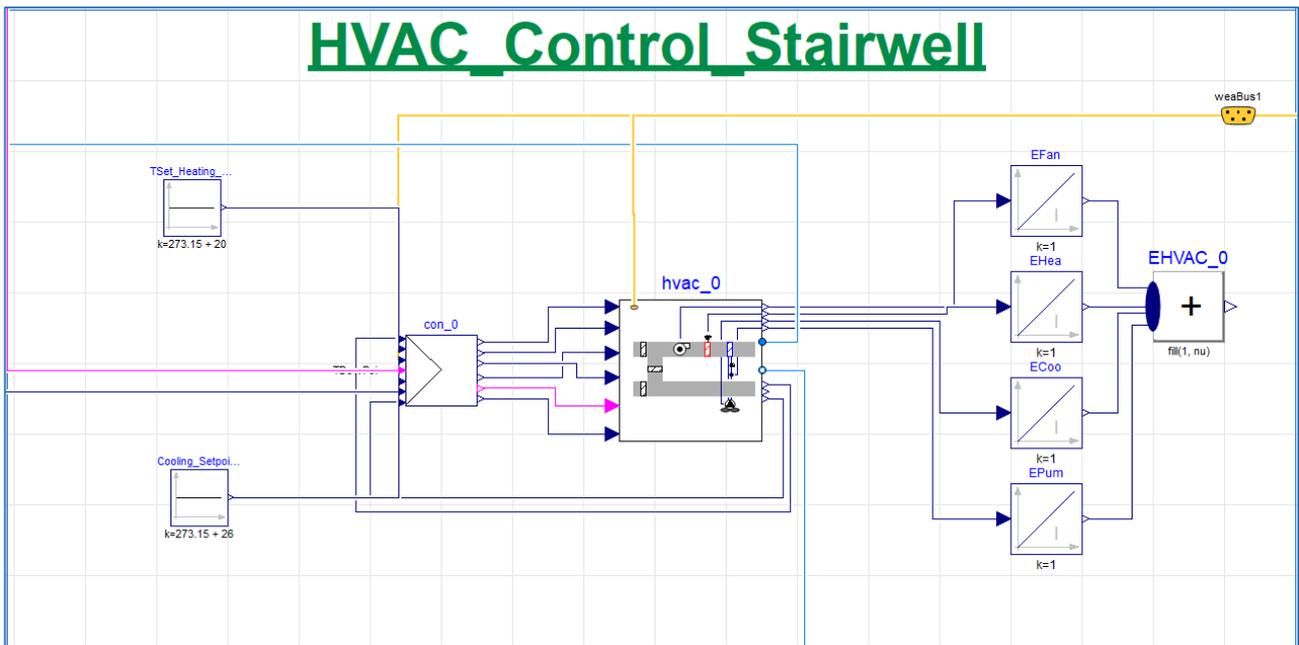


Fig. 32. HVAC System

I controlli vengono gestiti da un blocco di Modelica Buildings chiamato "ControllerChillerDXHeatingEconomizer" nel quale è possibile inserire i principali parametri di controllo per quanto riguarda il riscaldamento, il raffrescamento, la portata d'aria e il ricambio d'aria con l'esterno. Gli input sono rappresentati in Fig.37 e la gestione degli stessi in Fig.38.

Type	Name	Description
input RealInput	TSetRooCoo	Zone cooling setpoint temperature [K]
input RealInput	TSetRooHea	Zone heating setpoint temperature [K]
input RealInput	TRoo	Zone temperature measurement [K]
input RealInput	TMix	Measured mixed air temperature [K]
input RealInput	TSup	Measured supply air temperature after the cooling coil [K]
input RealInput	TOut	Measured outside air temperature [K]
output RealOutput	yHea	Control signal for heating coil [1]
output RealOutput	yFan	Control signal for fan [1]
output RealOutput	yOutAirFra	Control signal for outside air fraction [1]
output RealOutput	yCooCoiVal	Control signal for cooling coil valve [1]
output RealOutput	TSetSupChi	Set point for chiller leaving water temperature [K]
output BooleanOutput	chiOn	On signal for chiller
input BooleanInput	uOcc	Current occupancy period, true if it is in occupant period

Fig. 33. HVAC's control inputs

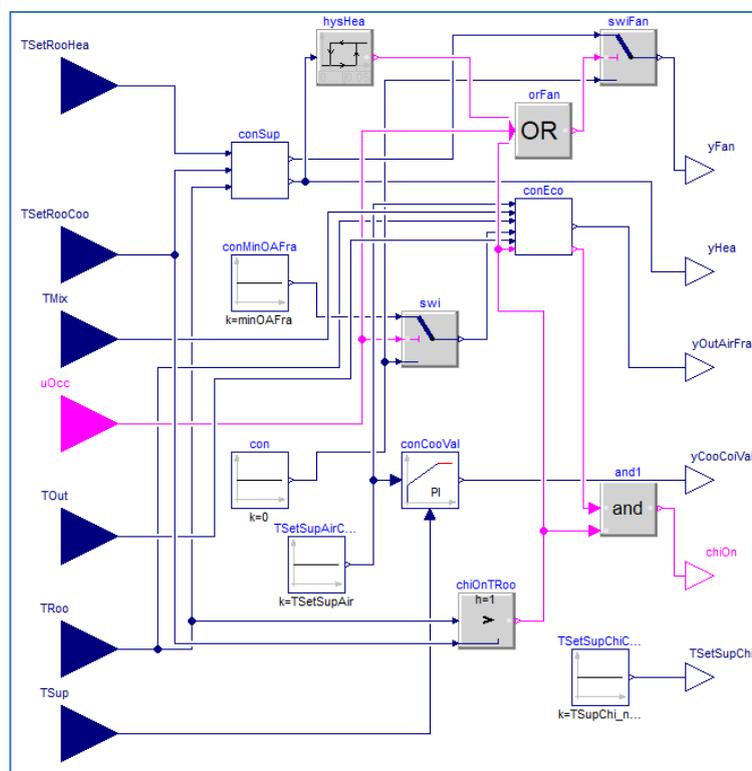


Fig. 34. HVAC's control diagram

Si noti come il parametro di accensione del chiller e della ventilazione è strettamente legato alla presenza di occupanti. I setpoints da regolare esternamente al blocco restano, oltre ad una schedule di occupazione che in questo caso è stata lasciata sempre “accesa” con parametro booleano “sempre vero”, quelli di accensione delle coils per il riscaldamento ed il raffrescamento. In questo caso, sempre facendo riferimento alle schede tecniche in possesso (Vedi Fig. 39), sono stati scelti 20°C per il riscaldamento e 27°C per il raffrescamento.

Temperaturas de consignas

Las temperaturas de consignas viene determinadas en Calener_vyp y se toman del documento reconocido " Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER".

- Verano: (Junio – Septiembre). 25°C (8:00 a 23:00) 27°C (24:00 a 7:00).
- Invierno: (Octubre – Mayo). 20°C (8:00 a 23:00) 17°C (24:00 a 7:00).

Fig. 35. Temperature setpoints

La gestione del controllo è prettamente di zona per cui è possibile impostare una differente tecnica di controllo per ogni ambiente. Gli unici parametri che condividono tutti i sistemi di climatizzazione sono quelli booleani di occupazione ed i connettori dei file meteo come si può vedere in Fig. 40

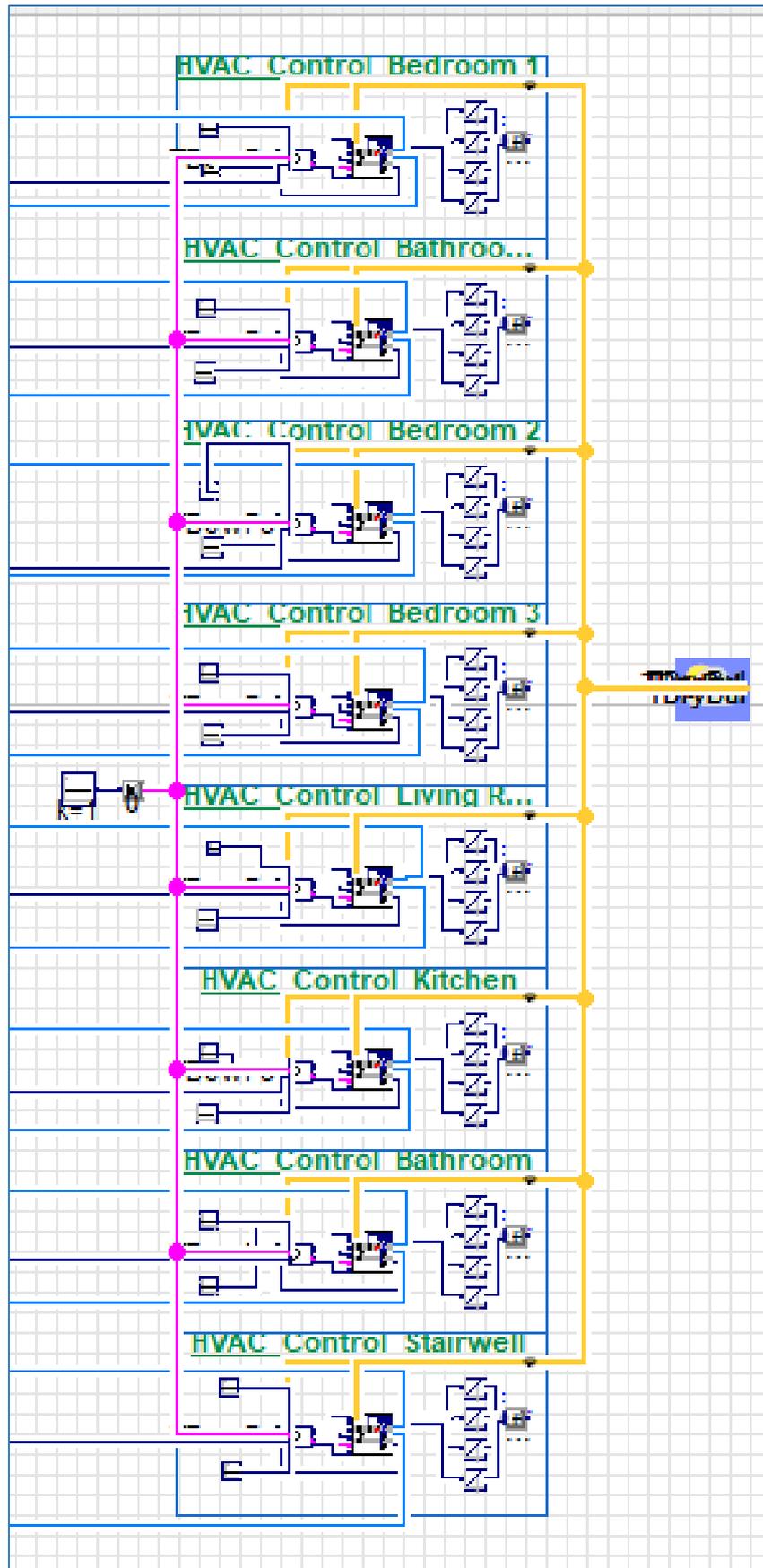


Fig. 36. Whole HVAC system

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento a pavimento, come generatore di calore si è scelto di modellare la caldaia a pellet come se fosse un boiler visto che il funzionamento è simile. Una volta ricavati i dati circa il consumo energetico sarà possibile convertire l'energia utilizzata in funzione di quella primaria. Il controllo di accensione della caldaia è di tipo "climatica esterna" ovvero si è scelto di impostare un valore di temperatura esterna limite (20°C) oltre il quale la caldaia si spegne. La distribuzione è stata modellata optando per due collettori di piano collegati in serie.

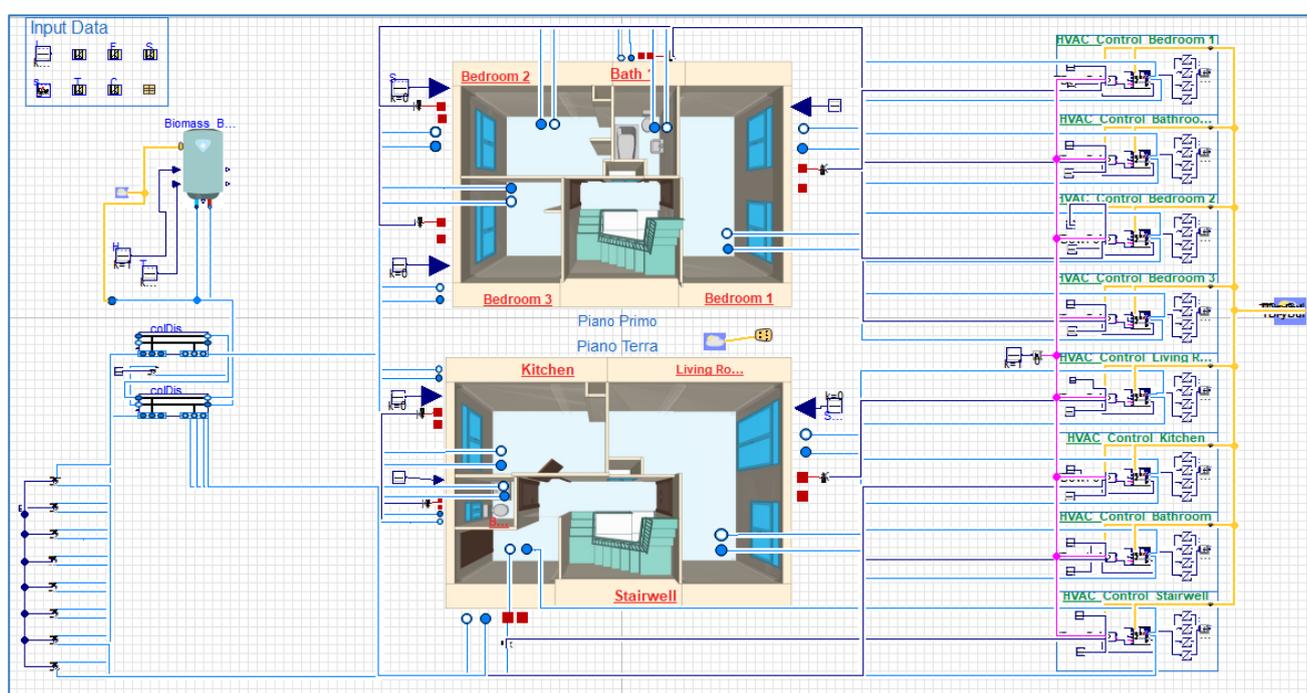


Fig. 37. Whole simulation model

In Fig. 42 è riportata la finestra di visualizzazione del modello intero. Una volta validato è stato possibile effettuare le simulazioni e produrre i primi risultati per ottimizzarlo.

5. VALUTAZIONE AUTOMATICA DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E DI CONTROLLO

La valutazione delle prestazioni, per il caso generale, richiede un flusso informativo sufficiente a produrre dati per il tracciamento delle operazioni lungo il ciclo di vita utile dell'edificio. Tutte le informazioni sono disponibili e condivise in un CDE, dove tutti i soggetti incaricati possono aggiornare, interrogare e/o aggiungere, nonché eliminare i dati in qualsiasi momento. Il seguente diagramma (BPMN - Business Process Modeling Notation) illustra il processo atteso per la valutazione delle prestazioni dell'edificio mediante l'impiego di KPI.

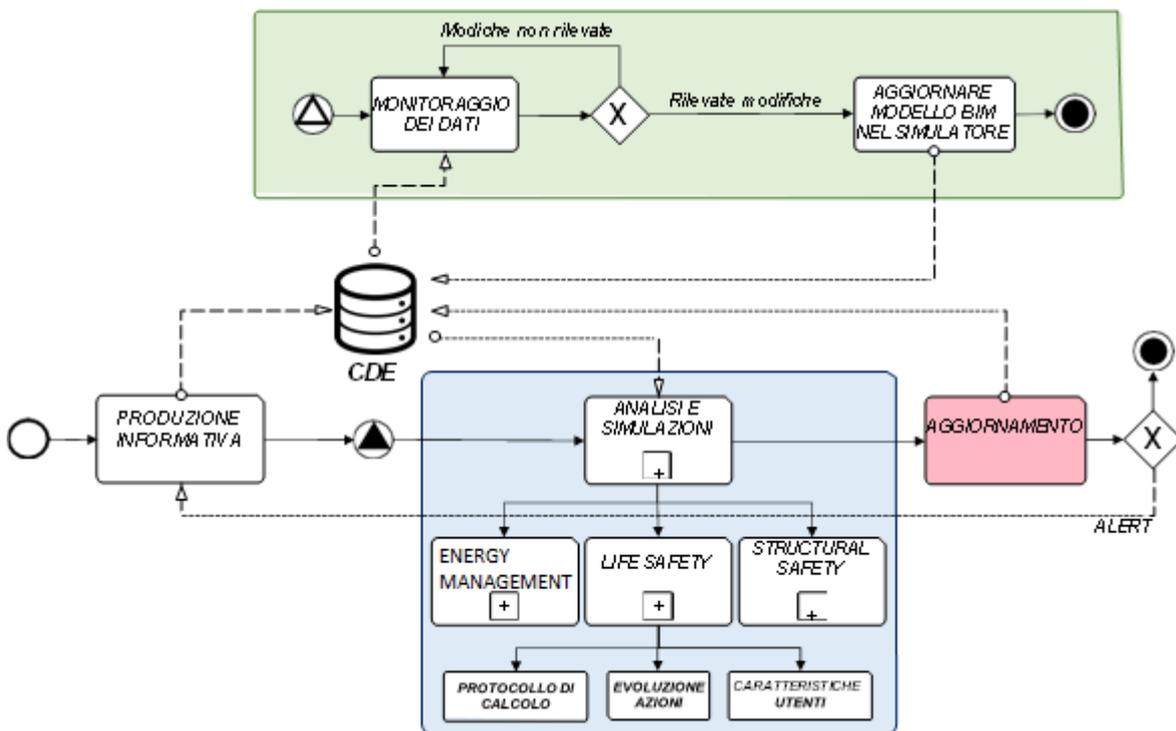


Fig. 39 - Diagramma BPMN

Il processo si sviluppa in una prima fase di produzione informativa che si registra lungo il ciclo di vita dell'edificio. Tutte le informazioni sono archiviate in un CDE dove è possibile verificare, controllare e interrogare il flusso di dati a qualsiasi cadenza temporale. I dati presenti nel CDE sono soggetti ad un sottoprocesso di monitoraggio volto a verificare qualsiasi operazione intervenuta sugli stessi, così da rilevare tutte le modifiche che possono produrre delle ripercussioni sul calcolo dei KPI. Ogni qual volta un soggetto interviene sulle informazioni archiviate,

l'aggiornamento viene trasmesso al processo di analisi e simulazione per l'aggiornamento dei KPI. I nuovi dati producono delle possibili variazioni sulle prestazioni attese dall'edificio, e per tale ragione i modelli di analisi sono aggiornati secondo il nuovo contenuto informativo. In questa fase di analisi, il simulatore interroga i dati presenti nel CDE, tenuto conto degli aggiornamenti intervenuti nonché di quanto già presente, così che il nuovo modello possa essere sottoposto alle simulazioni previste per fornire i nuovi dati atti alla descrizione degli indici di prestazioni a seguito dell'aggiornamento. Il processo si conclude con la definizione di nuovi valori per i KPI che possono illustrare, anche in forma grafica, quali ripercussioni hanno avuto gli aggiornamenti informativi sulle prestazioni generali dell'edificio. Quando i KPI presentano un aggravio delle prestazioni desiderate è necessario segnalare la variazione così da ripercorrere il processo adottando soluzioni diverse e di maggior tutela.

Come parametri indicatori di performance per quanto riguarda l'aspetto energetico di un edificio bisogna tenere in considerazione i consumi in ottica di comfort; per questo motivo tenere sotto osservazione indici come il consumo annuo piuttosto che il comfort inteso nella sua accezione più completa, ovvero secondo la teoria del Fanger può dimostrarsi una valida strategia manageriale.

L'esigenza e la volontà di condurre questa ricerca si è manifestata nel cercare di rispondere alla domanda: "Quali sono i limiti delle classi energetiche degli edifici (EPI) rispetto il benessere termoisometrico? Come una variazione di scenario nel ciclo di vita di un edificio può incidere gli indici energetici di riferimento"

Si evidenzia come le informazioni richieste per la valutazione degli indici di prestazione non possano essere ottenute in via esclusiva dal modello BIM, infatti sarà necessario attingere a informazioni provenienti da sensori per il tracciamento della posizione e del numero di occupanti, i cui dati non trovano la possibilità per essere allocati nello standard IFC.

5.1 Analisi informazioni di input

Il modello digitale dell'edificio, come tutte le informazioni quali occupanti e posizione nello spazio, materiali immagazzinati, prodotti di processi aziendali, dati di monitoraggio mediante sensori, ecc. sono allocati e archiviati in un ambiente di condivisione dei dati e disponibili come formati aperti per tutti gli attori.

Le entità, codificate nello standard IFC, necessarie ad acquisire le informazioni geometriche e semantiche allo scopo di costruire un modello per le analisi energetiche e di comfort sono di seguito illustrate:

IfcBuildingElement: restituisce informazioni geometriche per tutti gli elementi solidi come pareti, solai, pilastri, travi, porte e finestre, nonché proprietà quali nome ID, superfici, ecc.;

IfcMaterial: restituisce i materiali applicati ad ogni elemento solido, la stratigrafia, proprietà quali conducibilità termica, massa volumica, emissività, ecc.;

IfcFurnishingElement: definisce i materiali ospitati negli spazi – locali – dell'edificio quali elementi di arredo, materiali immagazzinati, ecc.;

IfcDistributionElement: contiene informazioni per gli impianti meccanici come sistemi HVAC e sistemi di protezione attiva. Restituisce informazioni sul tipo, posizione e caratteristiche fluidodinamiche per i componenti degli impianti;

IfcSensor: definisce i sistemi di rilevazione come sensori temperatura e occupazione mediante la posizione nello spazio e i parametri di intervento;

IfcSpace: contiene informazioni fondamentali sulla geometria degli spazi da controllare;

IfcRealSpaceBoundary: definisce le relazioni tra gli elementi dell'edificio, intese come, ad esempio, le connessioni tra pareti.

Il diagramma di flusso proposto di seguito intende illustrare il ciclo informativo a supporto del processo di valutazione delle prestazioni mediante KPI (Key Performance Indicator), dove è possibile osservare come le sole informazioni fornite dallo standard IFC non sono condizione sufficiente per una completa valutazione delle prestazioni. Infatti, sono previste fonti informative esterne dal

modello BIM, e quindi dall'IFC, affinché le simulazioni possano essere svolte in forma completa.

Il diagramma si suddivide in aree tematiche in accordo al diagramma che illustra il processo di tracciamento dei KPI (Key Performance Indicator). Le aree evidenziate in verde illustrano il sotto processo di monitoraggio dei dati presenti nel CDE, nonché la valutazione di aggiornamenti intervenuti. In questa fase è possibile evidenziare come le informazioni rubricate nello standard IFC non sono le sole necessarie e previste per la successiva fase di simulazione e descrizione dei KPI. La maschera descrive, evidenziate in giallo, nuove entità o attributi di cui si prevede una possibile integrazione nello standard IFC, oppure la realizzazione di nuove relazioni, affinché le informazioni presenti in ambienti diversi dall'IFC possano essere collegate al modello BIM.

L'articolazione dei dati può essere suddivisa in: informazioni statiche provenienti in via esclusiva dal modello BIM, informazioni dinamiche raccolte da un monitoraggio effettuato mediante sensori installati nell'edificio, e informazioni legislative per conseguire il rispetto dei requisiti di norme e leggi, nonché estrarre dati di letteratura a supporto delle analisi di simulazione (es. classi di automazione, ecc.).

Il gruppo di informazioni statiche rappresenta alcune radici dello standard IFC atte a descrivere le informazioni geometriche e semantiche dell'edificio come: pareti, solai, coperture, infissi, materiali, impianti tecnologici, sensori, destinazioni d'uso, ecc.

Le informazioni dinamiche descrivono tutti i dati registrati a seguito del monitoraggio eseguito mediante sensori installati nell'edificio, oltre ad informazioni ricevute in collaborazione con le previsioni legislative per la descrizione della dinamica di possibili scenari di occupazione credibili che interessano l'edificio. Quest'ultima raccolta di informazioni permette di istituire un bagaglio culturale per l'edificio atto a valutare il comportamento offerto dalla soluzione progettuale, come del comfort avvertito dagli occupanti che impiegano l'edificio. Ciò permette di descrivere scenari di occupazione basati sul reale impiego e conduzione dell'edificio che permette di osservare come tutte le variazioni intervenute lungo la vita utile possono gravare sulle condizioni di funzionalità e operatività per il normale impiego.

Il gruppo di dati esterni contiene tutto quanto previsto dal legislatore, e per il caso specifico in termini di prevenzione incendi, richiesto per disporre di un edificio realizzato in conformità degli standard temporali, nonché sulle previsioni scientifiche a supporto della valutazione delle prestazioni.

Il diagramma evidenzia come le informazioni di sensori e occupanti, inserite nel modello BIM (standard IFC), sono insufficienti per una completa descrizione sia dei dispositivi come sulla presenza di persone all'interno dell'edificio. È importante definire delle relazioni tra gli spazi intese come le destinazioni d'uso per i locali, gli occupanti rilevati a mezzo di sensori per il tracciamento della posizione nonché di presenza, oltre ad informazioni statiche per gli stessi occupanti che possano descrivere il genere, l'età, le capacità motorie, ecc.

Nel modello BIM, è possibile integrare informazioni per gli occupanti che interessano i dati di identità del soggetto, mediante l'attribuzione all'entità "IfcOccupant" anche a seguito di una sua estensione negli attributi. La relazione tra gli occupanti e gli spazi fruiti nell'edificio può essere condotta a seguito dell'istituzione dell'entità "IfcOccupancy" che permette di descrivere, in forma statica, il numero di persone presenti. I dati raccolti dal monitoraggio dei sensori si relazionano per ciascun occupante mediante "IfcOccupant" dove è possibile riscontrare una corrispondenza mediante ad un attributo "Tag". Al soggetto è assegnato un codice univoco a cui attribuire tutte le relazioni per le informazioni di tipo statico e dinamico. In ultimo è importante descrivere nel modello BIM tutti i sensori installati per completare le relazioni tra la raccolta di dati dinamici, esterni allo standard IFC, e gli occupanti.

La costituzione di un flusso informativo completo delle relazioni su esposte permette di interrogare tutti i dati necessari alla simulazione del modello di prevenzione incendi ed esodo, così che i dati forniti delle analisi possano descrivere l'aggiornamento subito dai KPI durante il ciclo di vita utile dell'edificio.

A tal proposito, affinché l'osservazione dell'andamento dei KPI lungo il ciclo di vita fornisca informazioni a supporto delle valutazioni e decisioni atte a perseguire gli obiettivi di sicurezza, è importante avere in memoria (all'interno del CDE) uno storico per gli stessi KPI.

5.2 Analisi IFC

La valutazione delle prestazioni in termini di risparmio energetico richiede informazioni provenienti dal modello digitale BIM a cui riferirsi per condurre le simulazioni previste per aggiornare i KPI. Sono stati individuati, nello standard IFC, le principali entità nell'ambito della prevenzione incendi a cui far riferimento allo scopo acquisire le informazioni geometriche e semantiche necessarie per la valutazione delle prestazioni.

La presente trattazione, rivolta all'obiettivo di risparmio energetico, vuole tracciare un processo logico nell'utilizzo dell'attuale standard IFC a supporto della BEM, nonché ricercare quali limiti sono presenti allo stato dell'arte, per i quali si suggerisce la ricerca delle informazioni da fonti diverse, sempre all'interno del CDE.

La descrizione della rappresentazione geometrica del modello abbisogna di entità presenti in "IfcBuildingElement", la quale racchiude in sé numerosi sottoinsiemi di dati come si vede in Fig.25:

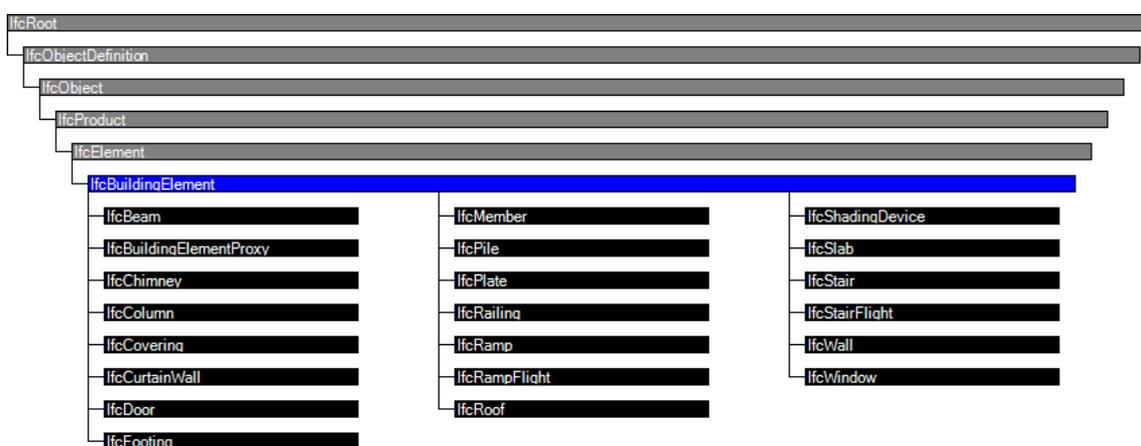


Fig. 25 - Radice "IfcBuildingElement" (fonte: buildingSMART [9])

Il più rilevante può essere individuato in "IfcWall" che permette di rappresentare la maggior quantità di informazioni geometriche, intese come tutte le pareti esterne e partizioni interne di qualsiasi natura. L'entità "IfcSlab" descrive tutte le chiusure opache orizzontali (solai), mentre "IfcRoof" è ad uso esclusivo di solai di copertura.

Fig. 26 - Entità "IfcWall" e "IfcDoor" (fonte: buildingSMART [9])

Ulteriori informazioni geometriche sono disponibili in “IfcWindow” e “IfcDoor”, rispettivamente tutte le finestre e le porte presenti nel modello.



```

#211= IFCWALLSTANDARDCASE('10nBRf2DL7tu5LXQytcpn4',#41,'Muro di base:Generico - 200 mm:131362',$,
    'Muro di base:Generico - 200 mm',#161,#207,'131362');

#161= IFCLOCALPLACEMENT(#136,#160);
#136= IFCLOCALPLACEMENT(#32,#135);
#32= IFCLOCALPLACEMENT(#153,#31);
#153= IFCLOCALPLACEMENT($,#152);
#152= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#31= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#135= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#160= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#158,$,$);
#158= IFCCARTESIANPOINT((-6.53267813898948,3.33728964058435,0.));

#207= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,#167,#204);
#167= IFCSHAPEREPRESENTATION(#114,'Axis','Curve2D',(#165));
#114= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Axis','Model',*,*,*,*,#111,$,.GRAPH_VIEW.,$);
#111= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Model',3,1.000000000000000E-5,#108,#109);
#108= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#109= IFCDIRECTION((6.12303176911189E-17,1.));
#165= IFCPOLYLINE((#9,#163));
#9= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.));
#163= IFCCARTESIANPOINT((7.8,0.));
#204= IFCSHAPEREPRESENTATION(#116,'Body','Clipping',(#194));
#116= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Body','Model',*,*,*,*,#111,$,.MODEL_VIEW.,$);
#111= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Model',3,1.000000000000000E-5,#108,#109);
#108= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#109= IFCDIRECTION((6.12303176911189E-17,1.));
#194= IFCBOOLEANCLIPPINGRESULT(.DIFFERENCE.,#175,#193);
#175= IFCXTRUDEDAREASOLID(#173,#174,#19,2.638);
#173= IFCRECTANGLEPROFILEDEF(.AREA.,$,#172,7.8,0.2);
#172= IFCAXIS2PLACEMENT2D(#170,#25);
#170= IFCCARTESIANPOINT((3.9,0.));
#25= IFCDIRECTION((-1.,0.));
#174= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#19= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#193= IFCPOLYGONALBOUNDEDHALFSPACE(#189,.T.,#192,#184);
#189= IFCPLANE(#188);
#188= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#186,#21,#11);
#186= IFCCARTESIANPOINT((0.009999999999999989,-0.1,2.638));
#21= IFCDIRECTION((0.,0.,-1.));
#11= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#192= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#190,$,$);
#190= IFCCARTESIANPOINT((0.009999999999999989,-0.1,2.638));
#184= IFCPOLYLINE((#9,#176,#178,#180,#182,#9));
#9= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.));
#176= IFCCARTESIANPOINT((7.79,0.));
#178= IFCCARTESIANPOINT((7.79,0.19));
#180= IFCCARTESIANPOINT((7.79,0.19));
#182= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.19));
#9= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.));
  
```

Fig. 27 - Esempio SPF per un muro generico

L'immagine descrive il set di record nello SPF (Step Physical File) per la rappresentazione geometrica di un elemento muro. Le parti evidenziate mostrano il punto di inserimento (baricentro della sezione di base) e i vertici della poligonale chiusa che descrive il perimetro di base, come l'altezza di estrusione.

Gli attributi previsti dall'entità "IfcWall" descrivono le caratteristiche geometriche come: lunghezza, altezza, spessore, area, volume, superficie laterale, ecc.

```
#233= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('0WuKRd4_HEau9K4Hjotmsg',#41,$,$,(#211),#228);
#228= IFCELEMENTQUANTITY('lqbzZqK1177047bwLdHgMN',#41,'BaseQuantities',$,$,(#220,#221,#222,#223,#224
#220= IFCQUANTITYLENGTH('Height',$,$,2.638);
#221= IFCQUANTITYLENGTH('Length',$,$,7.8);
#222= IFCQUANTITYLENGTH('Width',$,$,0.2);
#223= IFCQUANTITYAREA('GrossFootprintArea',$,$,1.56);
#224= IFCQUANTITYVOLUME('NetVolume',$,$,4.11528); <----- VOLUME LORDO (DA DIMENSIONI TOTALI)
#225= IFCQUANTITYAREA('NetSideArea',$,$,20.5764); <----- AREA DI UNA SUPERFICIE
#226= IFCQUANTITYAREA('NetSideArea',$,$,42.27638); <----- AREA TUTTE E 4 LE SUPERFICI
#227= IFCQUANTITYVOLUME('NetVolume',$,$,3.724758);
```

Fig. 28 - Esempio SPF per gli attributi di un muro generico

L'entità "IfcWall" si arricchisce di attributi grazie alle relazioni istituite con "PSet_xx". Quest'ultimo rappresenta un pacchetto informativo per tutte le proprietà dell'elemento(valore del tipo), come ad esempio:

- "Pset_WallCommon" che prevede informazioni quali:
 - Trasmittanza termica
 - Se l'elemento è esterno
 - Ecc.

```
#307= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('li_KoUv5PB2OUFvH3rg6qD',#41,$,$,(#211),#299);
#299= IFCPROPERTYSET('10nBRf2DL7tu5LZb8tcpn4',#41,'Pset_WallCommon',$,(#276,#295,#296,#297,#298));
#276= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Reference',$,IFCIDENTIFIER('Muro di base:Generico - 200 mm'),$);
#295= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ThermalTransmittance',$,IFCTHERMALTRANSMITTANCEMEASURE(4.7326117
#296= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('IsExternal',$,IFCBOOLEAN(.T.),$);
#297= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ExtendToStructure',$,IFCBOOLEAN(.T.),$);
#298= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LoadBearing',$,IFCBOOLEAN(.F.),$);
```

Fig. 29 - Esempio SPF per gli attributi di un muro generico

I materiali sono assegnati a ciascun oggetto mediante l'entità "IfcMaterial" che segue un percorso diverso dal precedente.



Fig. 31 - Entità "IfcMaterial" (fonte: buildingSMART [9])

La presente entità prevede un numero di “PSet_xx” molto vasto per soddisfare tutte le proprietà conosciute, ma di seguito si descrivono solo le più significative.

- “Pset_MaterialCommon” che prevede informazioni quali:
 - Densità.
- “Pset_MaterialThermal” che prevede informazioni quali:
 - Calore specifico;
 - Conducibilità termica

L’attribuzione dei materiali per ciascun oggetto presente nel modello BIM avviene mediante l’entità “IfcRelAssociatesMaterial”, oltre all’entità “IfcMaterialLayerSet” per la definizione delle stratigrafie degli elementi.

```
#125013= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('1TBgbukXr4nwpVf3xJJGue',#41,$,$,(#211),#273);
#273= IFCMATERIALLAYERSETUSAGE(#268,.AXIS2.,.NEGATIVE.,0.1);
#268= IFCMATERIALLAYERSET((#264,#266,#267),'Muro di base:Generico - 200 mm');
#264= IFCMATERIALLAYER(#237,0.01,$);
#237= IFCMATERIAL('Intonaco');
#266= IFCMATERIALLAYER(#250,0.18,$);
#250= IFCMATERIAL('Calcestruzzo, C 25/30');
#267= IFCMATERIALLAYER(#237,0.01,$);
#237= IFCMATERIAL('Intonaco');
```

Fig. 32 - Esempio SPF per i materiali applicati ad un muro generico

L’immagine descrive un elemento muro la cui stratigrafia si suddivide in un primo livello di intonaco, un secondo in calcestruzzo e in ultimo nuovamente intonaco. Oltre la descrizione del tipo di materiale applicato è possibile conoscere lo spessore e la sequenza in cui i diversi strati si posizionano.

Il contenuto, inteso come arredo e materiali in genere presenti all’interno del modello BIM, viene rappresentato mediante l’entità “IfcFurnishingElement”, oltre “PSet_xx”.

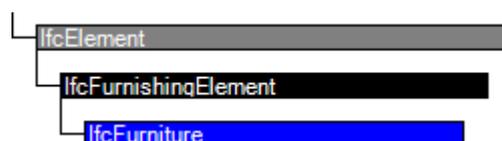


Fig. 33 - Entità “IfcFurniture” (fonte: buildingSMART [9])

Questa entità, a seguito delle informazioni previste nello standard IFC, richiede la costituzione di relazioni con informazioni esterne quali ad esempio: il riferimento ad un archivio di dati per la gestione delle risorse materiali disponibili nell'edificio (inventario).

Un valido suggerimento è offerto dall'entità "PSet_ManufacturerOccurrence" che prevede informazioni quali:

- Codice a barre;
- Numero di serie;
- Ecc.

L'impiego, ad esempio, dell'informazione presente nel modello BIM quale il codice a barre o il numero di serie, legano l'oggetto reale al database di inventario tenuto per la gestione dell'immobile, oltre ad ulteriori relazioni che conducono alla scheda tecnica del prodotto dove possono essere reperite informazioni sulle caratteristiche di tipo energetico.

L'entità "IfcDistributionElement" prevede la descrizione di tutti i sistemi di impianti tecnologici presenti nel modello. L'impianto di HVAC è di particolare interesse nella presente trattazione perché è l'oggetto attorno al quale si muove il controllo del comfort.

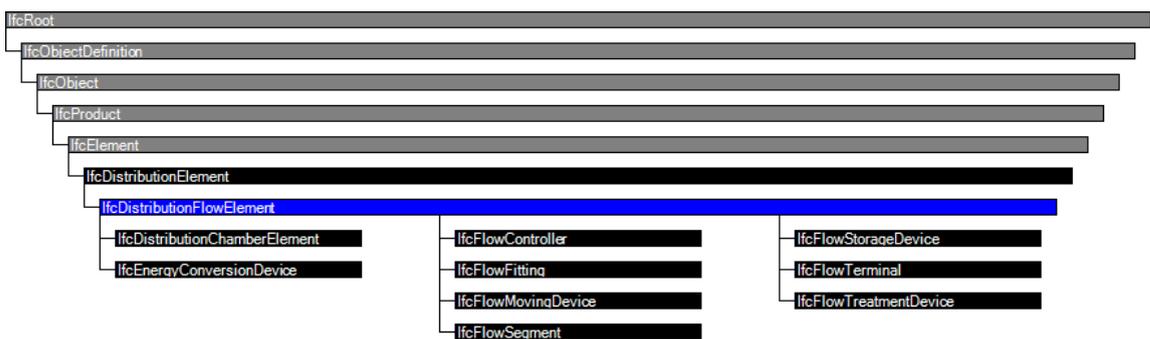


Fig. 34 - Radice "IfcDistributionFlowElement" (fonte: buildingSMART [9])

Le componenti di un impianto per il trattamento dell'aria indoor possono essere: condotti, elementi di raccordo, saracinesche, ventilatori, bocchette di immissione ed estrazione dell'aria, ecc.

Il condotto rappresenta un elemento – segmento – rettilineo definito da una geometria a sezione variabile (circolare o rettangolare), materiali e proprietà. L'entità in cui si inseriscono tutti i condotti è "IfcDuctSegment", che integra anche gli elementi di raccordo (curve, intersezioni a T, ecc.).

L'immagine seguente descrive un segmento di condotto a sezione rettangolare. La prima parte mostra la posizione assunta nello spazio e le regole per la costruzione geometrica dell'elemento

```
#251= IFCDUCTSEGMENT('lymgf6BB55Vgjk568ultub',#42,'Condotto rettangolare:Raggio gomiti /
      T:915758',$,'Condotto rettangolare:Raggio gomiti / T',#222,#243,'915758',.NOTDEFINED.);
#222= IFCLOCALPLACEMENT(#153,#221);
#153= IFCLOCALPLACEMENT(#33,#152);
#33= IFCLOCALPLACEMENT(#164,#32);
#164= IFCLOCALPLACEMENT($,#163);
#163= IFCACIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#32= IFCACIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#152= IFCACIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#221= IFCACIS2PLACEMENT3D(#241,$,$);
#241= IFCCARTESIANPOINT((-8913.04296005371,-1924.0370644396,2600.));
#243= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#234));
#234= IFCSHAPEREPRESENTATION(#120,'Body','SweptSolid',(#233));
#120= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Body','Model',*,*,*,#114,$,.MODEL_VIEW.,$);
#114= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Model',3,0.01,#111,#112);
#111= IFCACIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#112= IFCDIRECTION((6.12303176911189E-17,1.));
#233= IFCEXTRUDEDAREA SOLID(#227,#232,#20,300.);
#227= IFCRECTANGLEPROFILEDEF(.AREA.,'Raggio gomiti / T',#226,6550.00000000001,300.);
#226= IFCACIS2PLACEMENT2D(#224,#24);
```

Fig. 35 - Esempio SPF per la posizione di un condotto per la ventilazione meccanica

Seguono alcuni attributi di carattere generale come: altezza e larghezza della sezione, lunghezza del segmento di condotto, coefficiente di perdita di carico, ecc.

```
#330= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('lymgf6BB55Vgjk4s0ultub',#42,$,$,(#251),#324);
#324= IFCPROPERTYSET('lymgf6BB55Vgjk4c0ultub',#42,'Dimensioni',$,(#299,#300,#301,#302));
#299= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Altezza',$,IFCLENGTHMEASURE(300.),$);
#300= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Dimensioni',$,IFCTEXT('300x300'),$);
#301= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Larghezza',$,IFCLENGTHMEASURE(300.),$);
#302= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Lunghezza',$,IFCLENGTHMEASURE(6550.00000000001),$);
#358= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('lymgf6BB55Vgjk4smultub',#42,$,$,(#251),#346);
#346= IFCPROPERTYSET('lymgf6BB55Vgjk4cmultub',#42,'Meccanica',$,(#289,#290,#291,#292,#293,#294,#295,#296,#297,#298));
#289= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Abbreviazione di sistema',$,IFCTEXT(''),$);
#290= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Area',$,IFCAREAMEASURE(7.860000000000001),$); <----- SUPERFICIE LATERALE CONDOTTO
#291= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Blocco dimensione',$,IFCBOOLEAN(.F.),$);
#292= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Classificazione sistema',$,IFCTEXT('Aria di mandata'),$);
#293= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Coefficiente di perdita',$,IFCREAL(0.),$);
#294= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Diametro equivalente',$,IFCLENGTHMEASURE(327.949601948949),$);
#295= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Diametro idraulico',$,IFCLENGTHMEASURE(300.),$);
#296= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Nome sistema',$,IFCTEXT('Meccanica Aria di mandata 1'),$);
#297= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Sezione',$,IFCINTEGER(1),$);
#298= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Tipo di sistema',$,IFCLABEL('Sistema di condotti: Aria di mandata'),$);
```

Fig. 36 - Esempio SPF per gli attributi del condotto di ventilazione meccanica

Gli elementi di raccordo, come ad esempio una curva a 90° rispondono alla stessa entità e alla stessa struttura di informazioni.

```
#779= IFCDUCTFITTING('lymgf6BB55Vgjk568ultus',#42,'M Gomito rettangolare - Raggio:1.5 W:915773',$,
'M Gomito rettangolare - Raggio:1.5 W',#778,#772,'915773',.NOTDEFINED.);
#778= IFCLocalPLACEMENT(#153,#777);
#153= IFCLocalPLACEMENT(#33,#152);
#33= IFCLocalPLACEMENT(#164,#32);
#164= IFCLocalPLACEMENT($,#163);
#163= IFCAxis2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#32= IFCAxis2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#152= IFCAxis2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#777= IFCAxis2PLACEMENT3D(#775,#20,#18);
#775= IFCCARTESIANPOINT((-8763.04296005369,-2374.03706443958,2750.));
#20= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#18= IFCDIRECTION((0.,-1.,0.));
#772= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#770));
#770= IFCSHAPEREPRESENTATION(#120,'Body','MappedRepresentation',(#768));
#120= IFGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Body','Model',*,*,*,*,#114,$,.MODEL_VIEW.,$);
#114= IFGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Model',3,0.01,#111,#112);
#111= IFCAxis2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#112= IFCDIRECTION((6.12303176911189E-17,1.));
#768= IFCMAPPEDITEM(#754,#767);
#754= IFCREPRESENTATIONMAP(#753,#751);
#753= IFCAxis2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#751= IFCSHAPEREPRESENTATION(#120,'Body','SweptSolid',(#750));
#120= IFGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT('Body','Model',*,*,*,*,#114,$,.MODEL_VIEW.,$);
#114= IFGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Model',3,0.01,#111,#112);
#111= IFCAxis2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#6= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#112= IFCDIRECTION((6.12303176911189E-17,1.));
#750= IFCEXTRUDEDAREASOLID(#746,#749,#20,300.);
#746= IFCARBITRARYCLOSEDPROFILEDEF(.AREA.,'1.5 W',#740);
#740= IFCCOMPOSITECURVE((#715,#724,#731,#739),.F.);
#715= IFCCOMPOSITECURVESEGMENT(.CONTINUOUS.,.T.,#713);
#713= IFCPOLYLINE(#709,#711);
#709= IFCCARTESIANPOINT((-375.,-225.));
#711= IFCCARTESIANPOINT((-75.,-225.));
#724= IFCCOMPOSITECURVESEGMENT(.CONTINUOUS.,.F.,#721);
#721= IFCTRIMMEDCURVE(#720,(IFCPARAMETERVALUE(0.)),(IFCPARAMETERVALUE(90);
#731= IFCCOMPOSITECURVESEGMENT(.CONTINUOUS.,.T.,#729);
#729= IFCPOLYLINE(#725,#727);
#725= IFCCARTESIANPOINT((225.,75.));
#727= IFCCARTESIANPOINT((225.,375.));
#739= IFCCOMPOSITECURVESEGMENT(.CONTINUOUS.,.T.,#736);
#736= IFCTRIMMEDCURVE(#735,(IFCPARAMETERVALUE(0.)),(IFCPARAMETERVALUE(90
```

Fig. 37 - Esempio SPF per una curva 90° del sistema di ventilazione meccanica

Sono evidenziati i record che descrivono i vertici di connessione con i segmenti rettilinei, oltre al nome assegnato alla famiglia di oggetti.

Seguono alcuni attributi per descrivere l'elemento curva come: angolo, raggio, lunghezza, altezza, larghezza, ecc.

```

#841= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES ('lymgf6BB55Vgjk4s0ultus', #42, $, $, (#779), #832);
#832= IFCPROPERTYSET ('lymgf6BB55Vgjk4c0ultus', #42, 'Dimensioni', $, (#803, #804, #805, #806, #807, #808, #809));
#803= IFCPROPERTYSINGLEVALUE ('Altezza condotto', $, IFCLENGTHMEASURE (300.), $);
#804= IFCPROPERTYSINGLEVALUE ('Angolo', $, IFCPLANEANGLEMEASURE (90.), $);
#805= IFCPROPERTYSINGLEVALUE ('Dimensioni', $, IFCTEXT ('300x300-300x300'), $);
#806= IFCPROPERTYSINGLEVALUE ('Larghezza condotto', $, IFCLENGTHMEASURE (300.), $);
#807= IFCPROPERTYSINGLEVALUE ('Lunghezza condotto 1', $, IFCLENGTHMEASURE (450.), $);
#808= IFCPROPERTYSINGLEVALUE ('Raggio centro', $, IFCLENGTHMEASURE (450.), $);
#809= IFCPROPERTYSINGLEVALUE ('Volume', $, IFCVOLUMEMEASURE (0.0636169270424523), $);

```

Fig. 38 - Esempio SPF per gli attributi di un elemento curva 90

Per quanto attiene gli elementi terminali si deve far riferimento all'entità "IfcAirTerminal", dove sono allocate le informazioni sul tipo di bocchetta (diffusore, griglia, ecc.) oltre alle proprietà.

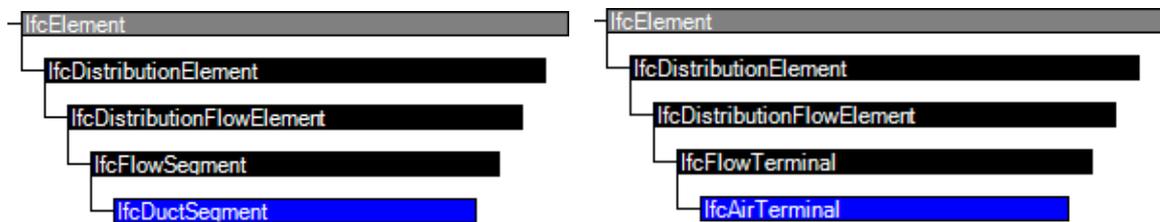


Fig. 39 - Entità "IfcDuctSegment" e "IfcAirTerminal" per il sistema di HVAC (fonte: buildingSMART [9])

L'entità "IfcSensor" permette di descrivere tutti i dispositivi impiegati per il monitoraggio dell'edificio.

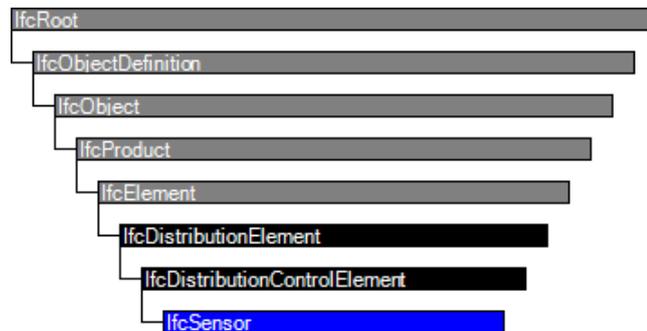


Fig. 40 - Entità "IfcSensor" (fonte: buildingSMART [9])

I tipi di sensore ammessi nello standard e quindi la cui rappresentazione è riconosciuta a livello internazionale sono:

- CO Sensor
- CO₂ Sensor
- Fire Sensor
- Smoke Sensor
- **Temperature Sensor**
- **Radiation Sensor**
- **Heat Sensor**
- Gas Sensor
- User Define.
- Ecc.

Table 2 - Tabella sui tipi di sensori definibili dall'utente

Per ciascuno è possibile descrivere le proprietà mediante "PSet_xx", di cui di seguito si riportano esclusivamente gli attributi per i sensori di temperatura, radiazione e calore.

- *"Pset_SensorTypeTemperature"* che prevede informazioni quali:
 - o Set Point (soglia di attivazione);
 - o Sensibilità (accuratezza nella rilevazione);
 - o Tempo.
-
- *"Pset_SensorTypeRadiationSensor"* che prevede informazioni quali:
 - o Set Point di radiazione;
- *"Pset_SensorTypeHeatSensor"* che prevede informazioni quali:
 - o Area di copertura del sensore;
 - o SetPoint di temperatura di attivazione;
 - o La velocità di aumento della temperatura che deve essere rilevata come pericolosa;

La possibilità di introdurre sensori nella categoria "User Define" permette di descrivere all'interno del modello BIM sensori come:

- Sensori per il tracciamento della posizione degli occupanti;
- Sensori per la rilevazione del numero di occupanti all'interno degli ambienti;
- Sensori sullo stato di vita (condizioni motorie, stato di veglia, ecc.).

Questi sensori non dispongono degli attributi previsti nell'entità "PSet_xx" perché attualmente non codificata. Per tale ragione, i sensori introdotti nella categoria definita dall'utente dispongono delle sole informazioni generiche per

l'individuazione univoca dell'elemento (come per tutte le altre categorie) che sono: ID, nome, posizione, ecc.

Le informazioni generiche di questi sensori sono sufficienti per definire delle relazioni verso altri database da cui sarà possibile ricavare tutti i dati necessari per le successive valutazioni delle prestazioni.

La descrizione degli occupanti che fruiscono quotidianamente l'edificio, non trova una corrispondenza nell'attuale standard IFC. In riferimento all'entità "IfcOccupant", è possibile osservare come questa, diversamente da come appare dal nome, non dispone di attributi per la descrizione di persone che fruiscono gli spazi. L'entità appartiene alla radice "IfcActor" come illustrato di seguito:

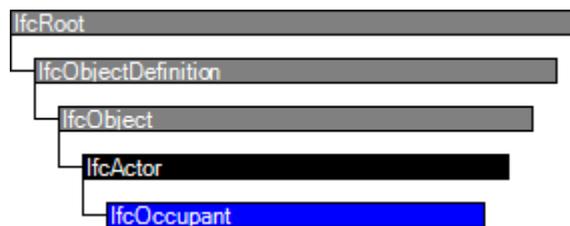


Fig. 41 - Entità "IfcOccupant" (fonte: buildingSMART [9])

i cui attributi riferiscono esclusivamente i soggetti coinvolti nella proprietà, gestione e/o manutenzione dell'edificio, ossia è possibile avere traccia di soggetti chiave con funzioni specifiche e di prim'ordine, la cui presenza all'interno dell'edificio può essere solo occasionale. Inoltre, le informazioni che possono essere ottenute riguardano dati di identità (nome, cognome, professione, ruolo, ecc.), diversamente da quanto necessario per condurre una valutazione delle prestazioni.

A supporto di informazioni che riguardano gli occupanti è possibile fare riferimento alle entità "IfcSpace" e/o "IfcZone" come ai relativi "PSet_xx". Di seguito si riportano due set di attributi per la descrizione dell'affollamento.

- *"Pset_SpaceOccupancyRequirements" che prevede attributi quali:*
 - Tipo di occupanti;
 - Numero di occupanti;
 - Numero massimo di occupanti;
 - Occupanti giornalieri;

- Area per occupante (affollamento);
- Ecc.

Le informazioni presentano la caratteristica di una rappresentazione statica delle condizioni che possono presentarsi, ossia vengono introdotte delle informazioni per descrivere una condizione generale che può verificarsi. Non è possibile tracciare in tempo reale il numero di persone presenti, come la loro posizione, nonché le condizioni motorie. Inoltre, tenuto conto di ambiti diversi, quali possono essere: prevenzione incendi, efficienza energetica, confort illuminotecnico, ecc. non appare possibile allocare tutte le informazioni all'interno di uno stesso attributo.

In ultima analisi, l'entità "IfcRelSpaceBoundary" permette di descrivere le relazioni che sussistono tra gli elementi presenti nel modello. Le relazioni che legano spazi adiacenti con gli elementi di separazione consentono di definire tutte le connessioni termiche nel layout dell'edificio.

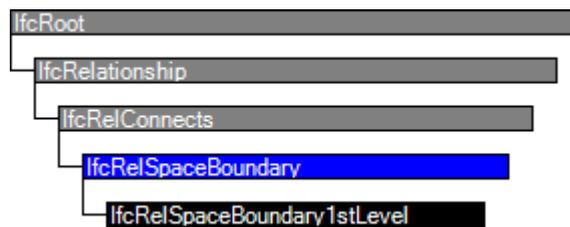


Fig. 42 - Entità "IfcRelSpaceBoundary1stLevel" (fonte: buildingSMART [9])

In presenza di un confine di spazio fisico (muri), si può attribuire la posizione e la forma del confine, come riferimento all'elemento edilizio; invece, nel caso di un confine di spazio virtuale (limite introdotto mediante elementi simbolici – linee), è possibile fornire la posizione e la forma del confine in riferimento all'elemento virtuale. Un esempio di elemento virtuale è rappresentato dalla definizione di aree a diversa destinazione afferenti ad un singolo locale descritto da quattro pareti chiuse. L'immagine seguente propone una rappresentazione di un elemento virtuale di separazione posto all'interno di un locale.

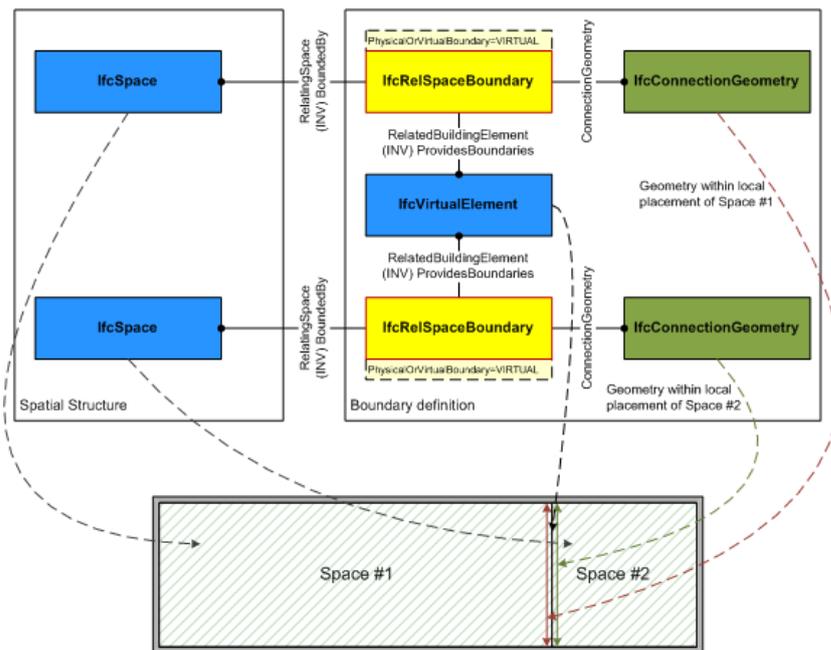


Fig. 43 - Esempio di relazione con elemento virtuale (fonte: buildingSMART [9])

Questa entità permette la definizione di una matrice di adiacenza, utile per la costruzione delle relazioni che intercorrono tra gli spazi-elementi presenti nel modello, così da istituire un sistema con tutte le relative connessioni di trasmissione del calore.

5.3 Analisi informazioni esterne

Le informazioni che bisogna riportare da file diversi dall'IFC sono fondamentalmente tutte quelle che mutano nel tempo. Di fatto un file IFC rispecchia una fotografia "Istantanea" del modello in esame. Tutto ciò che muta nel tempo è da ricercare al di fuori di tale standard.

Di conseguenza i parametri che più variano nel tempo sono quelli del file meteo ed i segnali di misurazione. Per quanto di un sensore possa essere essenziale conoscere la sensibilità piuttosto che la taratura ai fini della simulazione questo ricopre un ruolo secondario. Anche nei parametri tipici del controllo si nota che un file IFC non è scarso di informazioni. L'entità Ifccontroller ha a disposizione attributi come i coefficienti di un controllore PID. Non si è trovata, invece, la possibilità di definire il tipo di controllore, ad esempio sarebbe utile ai fini del controllo

differenziare un controllo on/off da uno di tipo PID. Informazioni quali la classe di automazione sono assenti oltre a le strategie di controllo. Inoltre in per gli impianti di climatizzazione sono mancanti alcuni parametri come ad esempio la localizzazione dell'impianto a pavimento nel pacchetto del solaio piuttosto che la distanza tra i tubi dello stesso. I dati che risultano mancare dall'analisi informativa sono

- File meteo
- Distanza tra i tubi del pavimento radiante
- Layer del pacchetto solaio dove sono posizionati i tubi radianti
- Pressione nominale dell'HVAC
- Tipologia di controllore
- Classe di automazione
- Temperatura di uscita dell'aria dall'HVAC

5.4 Definizione delle relazioni tra i dati

Allo stato attuale è possibile riconoscere come le informazioni codificate per lo standard IFC assumono un carattere statico; pertanto, non permettono di memorizzare informazioni dinamiche quali possono essere il monitoraggio continuo della posizione assunta dagli occupanti, il valore di affollamento e informazioni sullo stato (mobilità, veglia, addormentato, ecc.). Per tali ragioni è necessario richiedere questi dati da sorgenti diverse come database popolati dalla rilevazione da parte di sensori che rispondono ad un linguaggio esterno dall'IFC.

Inoltre, lo sviluppo di una valutazione delle prestazioni risponde a degli obiettivi, esigenze e richieste che in parte sono dettate dal committente ma per larga parte sono regolamentate dal sistema normativo. Ad esempio, il codice di prevenzione incendi, impone le soglie ritenute incapacitanti per gli occupanti come per le squadre di soccorso. Questi valori limite sono un requisito per garantire la sicurezza in fase di esodo. Inoltre, indica la velocità assunta dalle persone in relazione allo stato di veglia, la conoscenza dei luoghi e il tipo di percorso.

Per tali ragioni si rende necessaria l'integrazione normativa nel flusso di informazioni, oltre al modello BIM e ai dati del monitoraggio da sensori.

I dati delle fonti su esposte devono assumere una struttura che permetta la costituzione di relazioni tali da non creare conflitti nel flusso di informazioni, come garantire la certezza del dato. I dati del modello BIM vengono condivisi mediante lo standard IFC grazie all'impiego di file testuali definiti STEP Physical File (SPF), la cui struttura è illustrata nell'immagine seguente:

```
#283=  
IFCSPACE('20Q9IV9dT6Ce2dpb0r3ghc', #42, '102', $, $, #249, #277, 'Ufficio', .ELEMENT., .SPACE.,  
$);
```

Fig. 40 - Esempio SPF per l'entità "IfcSpace"

dove il primo valore "#283" indica l'IfcID inteso come la posizione nel listato che permette di costituire le relazioni tra altri elementi o le sue proprietà. Il secondo campo "IFCSPACE" rappresenta l'entità ifc, cioè l'insieme di appartenenza dell'elemento; segue il codice GUID, "20Q9IV9Dt6Ce2dpb0r3ghc" che rappresenta un valore univoco attribuito al singolo elemento. Il valore "#42" richiama un set di record per descrivere la storia di proprietà del modello (proprietà del documento, versione software, ecc.); "102" indica il nome dell'elemento e seguono eventuali descrizioni "\$". Successivamente i campi "249 e 277" richiamano set di record per descrivere la posizione nello spazio, nonché informazioni per la costruzione geometrica dell'oggetto. Il valore "Ufficio" descrive il nome esteso assegnato all'elemento, mentre "ELEMENT" individua il tipo di oggetto e in questo caso specifico viene assegnato il valore "SPACE".

Un ciclo informativo che permette di ricevere tutte le informazioni necessarie per la valutazione delle prestazioni può essere come di seguito descritto:

1. Estrarre dal modello BIM le informazioni basate sul codice GUID, oltre che su IfcID. L'elemento è individuato in maniera univoca mediante il codice GUID, mentre IfcID permette di costruire la struttura gerarchica delle proprietà attribuite allo specifico oggetto. È possibile conoscere le caratteristiche geometriche, la posizione nello spazio, il nome, le proprietà semantiche, ecc.
2. Costruire una relazione diretta con i dati forniti dal monitoraggio mediante sensori è possibile grazie al codice GUID. Il modello digitale trova al suo interno la rappresentazione, ad esempio del sensore di temperatura, pertanto sarà assegnato un codice GUID all'elemento e le relative caratteristiche. La relazione tra il modello BIM e un database esterno che incorpora le coordinate sulla posizione degli occupanti può essere definita

attraverso il nome del sensore e il codice;

3. La relazione con i requisiti previsti da norme, leggi e regolamenti può essere istituita sempre mediante il codice GUID di elementi di tipo non geometrico presenti nel modello BIM. La rappresentazione di entità non geometriche (ad esempio la destinazione d'uso), possibile all'interno del modello, produce record alla stregua di elementi geometrici. La digitalizzazione della norma richiede la definizione di una struttura che permetta la relazione con informazioni semantiche del modello BIM.

La valutazione delle prestazioni energetiche in ambito "HVAC Control", proposta nel presente lavoro di tesi, richiede informazioni da abbinare alla modellazione Modelica illustrata nel capitolo 4. È necessario produrre informazioni per rispondere alle richieste previste dalla struttura dati del simulatore, allo scopo di costruire un modello per l'analisi di comfort. Per quanto su esposto, le informazioni geometriche, materiche, la posizione e il tipo di sensori, come gli impianti HVAC sono di più immediata disponibilità grazie al modello BIM che contiene quanto previsto per la definizione del modello di simulazione energetica. Viceversa, le informazioni che trattano il numero, tipo e posizione degli occupanti richiedono più fonti per compilare il modello. Di seguito viene proposta una tabella riassuntiva delle informazioni previste per il modello di simulazione dell'esodo e le relazioni che si ha la necessità di istituire. La descrizione dei record per la simulazione energetica in ambiente Modelica richiede l'individuazione delle principali blocchi funzionali: l'impianto di riscaldamento, l'involucro edilizio ed i controlli dell'intero sistema. La tabella evidenzia come lo standard IFC non dispone di informazioni sufficienti in relazione ai dati richiesti in una simulazione energetica. Infatti, per larga parte, è previsto il ricorso ad informazioni esterne al modello BIM, come dati provenienti dal monitoraggio mediante sensori, oltre a riferimenti di tipo legislativo e letteratura di settore.

	DATO MODELICA	Note	IFC	Ricavato Indirettamente	Calcolato dal modello
Sito	latitudine		Ifc.Site.Ref.Latitude./IfcCompoundPlane/Angle/Measure		x
	File meteo		marca		x
S	Room		IfcSpace.Pset_SpaceCommon.P_SINGLEVALUE / IfcIdentifier[]		
	IRoo		IfcSpace.Pset_SpaceCommon.P_SINGLEVALUE / IfcIdentifier[]		
p	nContext		IfcSpace.Qto_SpaceBaseQuantities.Q_LENGTH	x	
	nContextWin		marca	x	
a	nContextBou		marca	x	
	nContextBou		marca	x	
c	AFRo		marca	x	
	IfcRate	[1/h]	IfcSpace.Pset_SpaceCommon.P_SINGLEVALUE / IfcAreaMeasure		
e	broom	[kg/s]	IfcSpace.Qto_SpaceBaseQuantities.Q_LENGTH		
	mFlowNominal		IfcMassFlowRateMeasure		
M	Medium W/A	[flow]	IfcSpace.Pset_SpaceCommon.P_ENUMERATEDVALUE / IfcLabel / IfcNum_HeatTransferMedium		
	Sys_Type		IfcSpace.Heater.Pset_SpaceHeaterType/Idator		
O	pipeDN8700...		marca	x	
	Medium W/A		IfcPipeSegment.Pset_ManufacturerType/Information.P_SINGLEVALUE / IfcIdentifier		
d	layers	[pacchetto materiali]	IfcSpace.Heater.Pset_SpaceHeaterTypeCommon.P_ENUMERATEDVALUE / IfcLabel / IfcNum_HeatTransferMedium		
	Area interfaccia slab[m2]		IfcWaterLayerSet		
e	Atomodificiole necessario[m2]		marca	x	
	Medium W/A		IfcSpace.Pset_SpaceCommon.P_SINGLEVALUE / IfcAreaMeasure		
I	Schedule Occupation (Days/Week;Year)		IfcBuilding.Pset_BuildingCommon.P_SINGLEVALUE / IfcAreaMeasure		
	Schedule Illumination (Days/Week;Year)		IfcSpace.Heater.Pset_SpaceHeaterTypeCommon.P_ENUMERATEDVALUE / IfcLabel / IfcNum_HeatTransferMedium		
	pmv		IfcSpace.Pset_SpaceThermalRequirements		x
	ppd		marca	x	
	occupation		marca	x	
Comfort	medium A/W		IfcSpace.Heater.Pset_SpaceHeaterTypeCommon.P_ENUMERATEDVALUE / IfcLabel / IfcNum_HeatTransferMedium		
H	GDP_nominal		IfcChiller.Pset_ChillerTypeCommon.P_TABLEVALUE / IfcThermodynamicTemperatureMeasure / IfcReal		
V	Temperatura di uscita del chiller		IfcChiller.Pset_ChillerTypeCommon.P_TABLEVALUE / IfcThermodynamicTemperatureMeasure / IfcReal		
A	portata d'aria		IfcAirTerminal.Pset_AirTerminalOccurrence.P_SINGLEVALUE / IfcVolumeFlowRateMeasure		x
C	pressione nominale		marca	x	
	potenza heating		IfcChiller.Pset_ChillerTypeCommon.P_SINGLEVALUE / IfcPowerMeasure		
	efficienza heating		IfcChiller.Pset_ChillerTypeCommon.P_SINGLEVALUE / IfcNormalisedRatioMeasure		
	potenza cooling		IfcChiller.Pset_ChillerTypeCommon.P_SINGLEVALUE / IfcPowerMeasure		
	potenza acqua		IfcChiller.Pset_ChillerTypeCommon.P_SINGLEVALUE / IfcPowerMeasure		
	potenza boiler		IfcBoiler.Pset_BoilerTypeCommon.P_ENUMERATEDVALUE / IfcLabel / IfcNum_HeatTransferMedium		
	efficienza		IfcBoiler.Pset_BoilerTypeCommon.P_REFERENCEVALUE / IfcThermodynamicTemperatureMeasure / IfcEnergyMeasure		
Boiler	Temperatura mandata		IfcBoiler.Pset_BoilerTypeCommon.P_REFERENCEVALUE / IfcThermodynamicTemperatureMeasure		
Controllo	Temperatura esterna		marca		
Boiler	T_setpointSetlnt		IfcSensor.Pset_SensorType/TemperatureSensor.P_BOUNDEDVALUE / IfcThermodynamicTemperatureMeasure		x
	on/off controller		marca		
H	Minimum air/bw fraction of system		IfcSpace.Pset_AirSubstance/Information.P_SINGLEVALUE / IfcVolumeFlowRateMeasure		x
V	Minimum outdoor air fraction of system		IfcSpace.Pset_SpaceThermalDesign.P_SINGLEVALUE / IfcThermodynamicTemperatureMeasure		
A	Cooling supply air temperature setpoint		IfcSpace.Pset_SpaceThermalDesign.P_ENUMERATEDVALUE / IfcLabel / IfcNum_ControllerProportionalType		
n	ControllerType		IfcController.Pset_ControllerTypeProportional.P_SINGLEVALUE / IfcReal		
C	k		IfcController.Pset_ControllerTypeProportional.P_SINGLEVALUE / IfcReal		
t	Ti		IfcController.Pset_ControllerTypeProportional.P_SINGLEVALUE / IfcReal		
r	Td		IfcController.Pset_ControllerTypeProportional.P_SINGLEVALUE / IfcReal		
o	tsetroomheating		IfcSpace.Pset_SpaceThermalDesign.P_SINGLEVALUE / IfcThermodynamicTemperatureMeasure		
i	tsetroomcooling		IfcSpace.Pset_SpaceThermalDesign.P_SINGLEVALUE / IfcThermodynamicTemperatureMeasure		
	Thnxkshir		marca	x	
	Text		marca		
	Tsensorsupplyaircoil		marca		

Table 3 - Dati informativi disponibili dal file IFC

5.5 Calcolo e aggiornamento in tempo reale degli indicatori

I risultati forniti dagli indici di comfort, piuttosto che dai consumi, permettono al facility manager di capire se è necessario intervenire nelle facilities che risultano provocare una criticità in quel momento. L'ambiente Modelica sotto questo aspetto risulta versatile perché, al netto di semplici regole di modellazione, è possibile cambiare il modello anche in maniera autonoma. Resta quindi utile, in termini di valutazione automatica delle prestazioni, focalizzarsi solo su pochi parametri per l'identificazione di un "Alert" tenendo però presente delle potenzialità dell'ambiente Modelica soprattutto secondo gli ingenti parametri di output.

Nel caso di studio in esame si è scelto di utilizzare una logica di intervento secondo una standardizzazione di uno scenario tipo e in base ai KPI prodotti decidere se intervenire al netto di evidenti criticità. Per una valutazione esaustiva è necessario disporre di un campionamento dei dati frutto della simulazione di tutti gli scenari di occupazione credibili e più gravosi previsti per la soluzione progettuale. Questo permette di osservare se particolari tecniche di controllo, presentano ripetutamente valori ritenuti oltre la soglia di consumo previsti e di conseguenza prevedere interventi per mitigare il consumo energetico o definire nuove soluzioni progettuali.

6. IL CASO DI STUDIO: EDIFICIO RESIDENZIALE

Nel capitolo 6 sono riportati il caso di studio e i risultati delle simulazioni effettuate attraverso il software Dymola. In ultimo verrà stilata una tabella sul confronto dei dati estrapolati.

6.1 Stato di fatto del progetto EDEA

Il caso di studio è un edificio situato a Cáceres, in Spagna, il quale è stato realizzato grazie ad un finanziamento europeo per un progetto di ricerca di nome EDEA; l'obiettivo principale del progetto EDEA era sviluppare una metodologia per progettare e costruire abitazioni con criteri di risparmio energetico, sostenibilità e consumo di energia rinnovabile. Attualmente lo stesso edificio è oggetto di implementazione di dimostrativi per un altro progetto di ricerca attualmente in corso di nome ENCORE a cui il DICEA partecipa come partner di ricerca

L'edificio in esame nasce in un contesto di tipo sperimentale in modo da permettere a varie figure professionali che orbitano attorno al mondo delle costruzioni di avanzare proposte di miglioramento sempre in ottica di efficientamento energetico; la mission del lavoro di tesi è rivolta proprio a ricercare l'impatto che la gestione ed il controllo dei sistemi di climatizzazione può avere in tale ambito.



Fig. 41.EDEA Project



Fig. 42. EDEA Buildings

Piano	Destinazioni d'uso	Superficie Utile[m²]
Seminterrato	Garage, Centrale Termica	48,13
Terra	Cucina, sanitari, soggiorno	50,77
Primo	Tre camere da letto, bagno principale	48,04
Copertura	Lastrico solare	50,45
	Totale	197,39

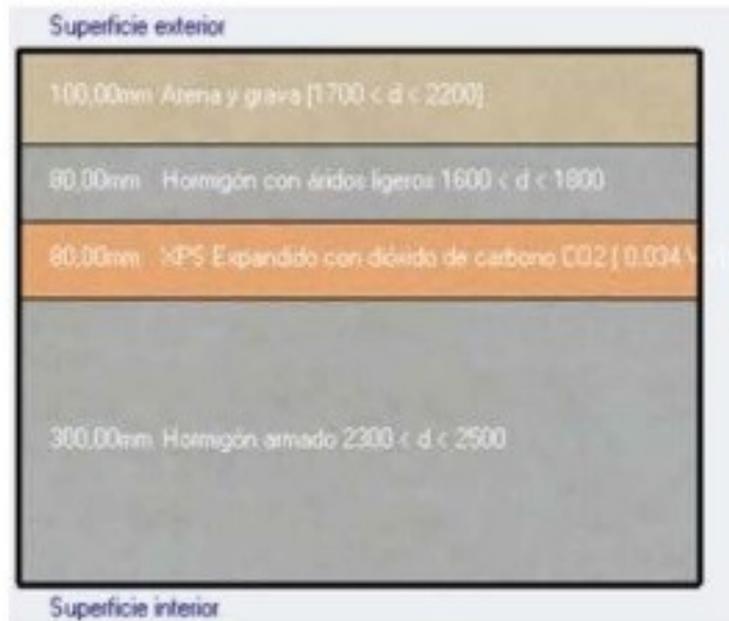
Tab. 8. Surfaces

L'involucro è definito secondo dei pacchetti di materiali ben definiti come si può notare dalle Figure 43,44,45,46.

Superficie exterior	
20,00mm	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000(no está a escala)
80,00mm	EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/(mK)]
40,00mm	Panel Viroc
100,00mm	Cámara de aire sin ventilar vertical 10 cm
15,00mm	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1600 < d < 1800(no está a escala)
115,00mm	Tabique de LH sencillo (40 mm < Espesor < 60 mm)
15,00mm	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1600 < d < 1800(no está a escala)
50,00mm	Cámara de aire sin ventilar vertical 5 cm
15,00mm	Placa de yeso laminado (PVL) 750 < d < 900(no está a escala)
Superficie interior	

Superficie interior	
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m ² ·K)	2,152
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m ² ·K)	5,540
Resistencia superficial (m ² ·K/W)	0,130
Superficie exterior	
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m ² ·K)	19,870
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m ² ·K)	5,130
Resistencia superficial (m ² ·K/W)	0,040
Sin Puentes Térmicos	
Valor U de superficie a superficie (W/m ² ·K)	0,331
Valor R (m ² ·K/W)	3,191
Valor U (W/m²·K)	0,313
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)	
Espesor (m)	0,4500
Km - Capacidad térmica interna (KJ/m ² ·K)	12,3750
Límite superior de resistencia (m ² ·K/W)	3,191
Límite inferior de resistencia (m ² ·K/W)	3,191
Valor U de superficie a superficie (W/m ² ·K)	0,331
Valor R (m ² ·K/W)	3,191
Valor U (W/m²·K)	0,313

Fig. 43. Party Wall



Superficie interior	
Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m ² -K)	4,460
Coeficiente de transferencia de calor por radiación (W/m ² -K)	5,540
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0,100
Superficie exterior	
Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m ² -K)	19,870
Coeficiente de transferencia de calor por radiación (W/m ² -K)	5,130
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0,040
Sin Puentes Térmicos	
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	0,384
Valor R (m ² -K/W)	2,743
Valor U (W/m²-K)	0,365
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)	
Espesor (m)	0,5600
Km - Capacidad térmica interna (KJ/m ² -K)	240,0000
Límite superior de resistencia (m ² -K/W)	2,743
Límite inferior de resistencia (m ² -K/W)	2,743
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	0,384
Valor R (m ² -K/W)	2,743
Valor U (W/m²-K)	0,365

Fig. 44.Roof



Superficie interior	
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m ² K)	2,152
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m ² K)	5,540
Resistencia superficial (m ² K/W)	0,130
Superficie exterior	
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m ² K)	19,870
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m ² K)	5,130
Resistencia superficial (m ² K/W)	0,040
Sin Fuentes Térmicas	
Valor U de superficie a superficie (W/m ² K)	0,393
Valor R (m ² K/W)	2,711
Valor U (W/m²K)	0,369
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)	
Espesor (m)	0,2950
Km - Capacidad térmica interna (KJ/m ² K)	12,3750
Límite superior de resistencia (m ² K/W)	2,711
Límite inferior de resistencia (m ² K/W)	2,711
Valor U de superficie a superficie (W/m ² K)	0,393
Valor R (m ² K/W)	2,711
Valor U (W/m²K)	0,369

Fig. 45.Facade

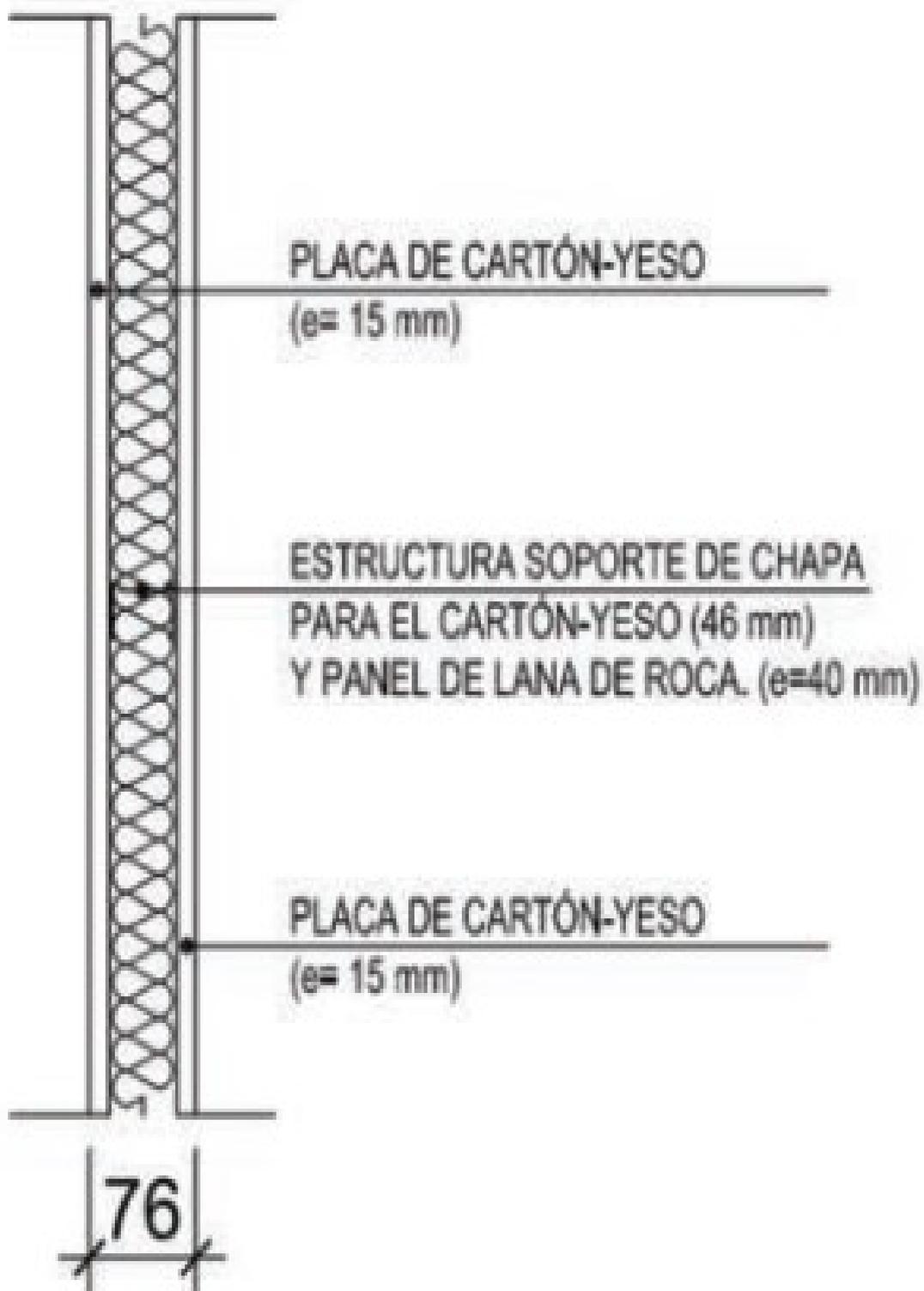
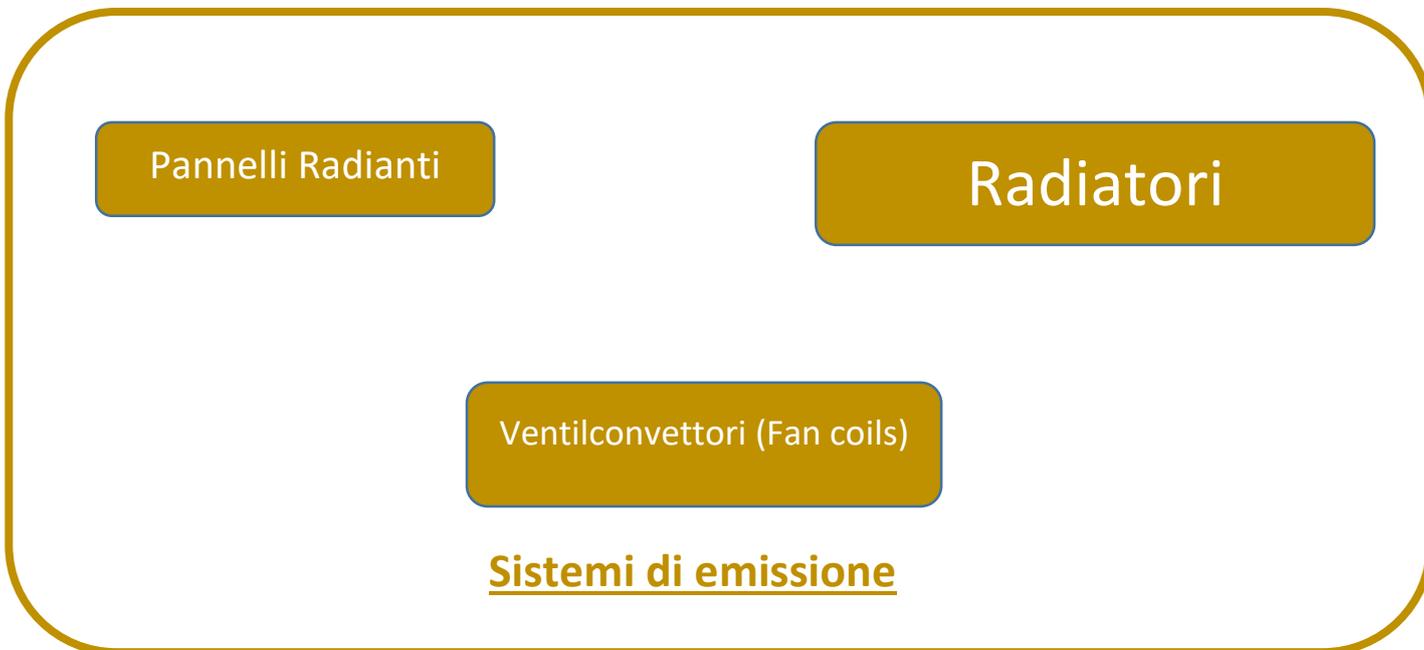
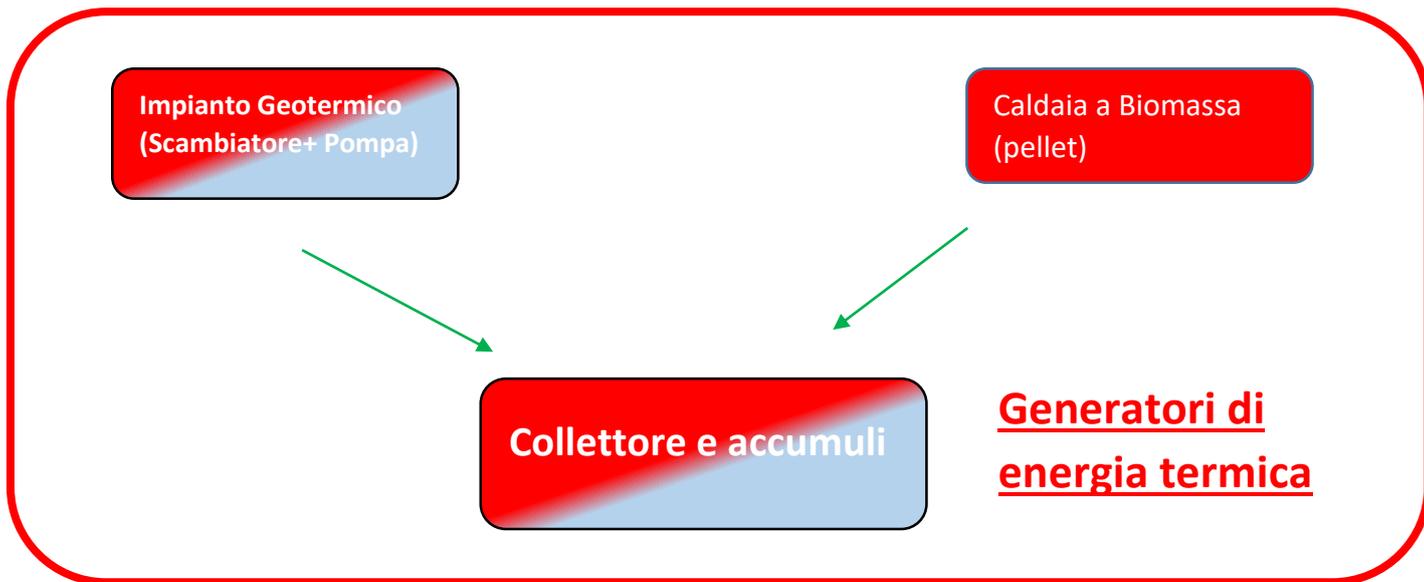


Fig. 46. Interior Wall



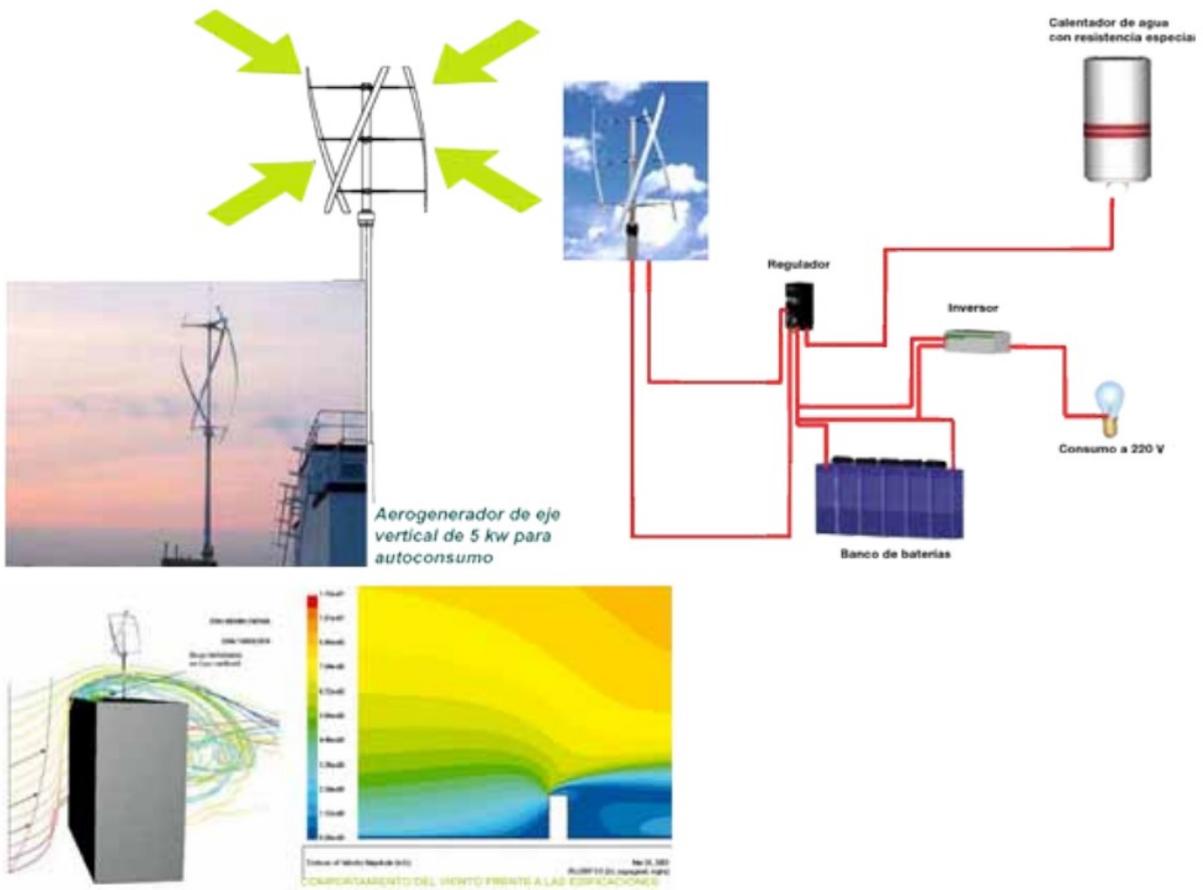


Fig. 47. Wind Turbine

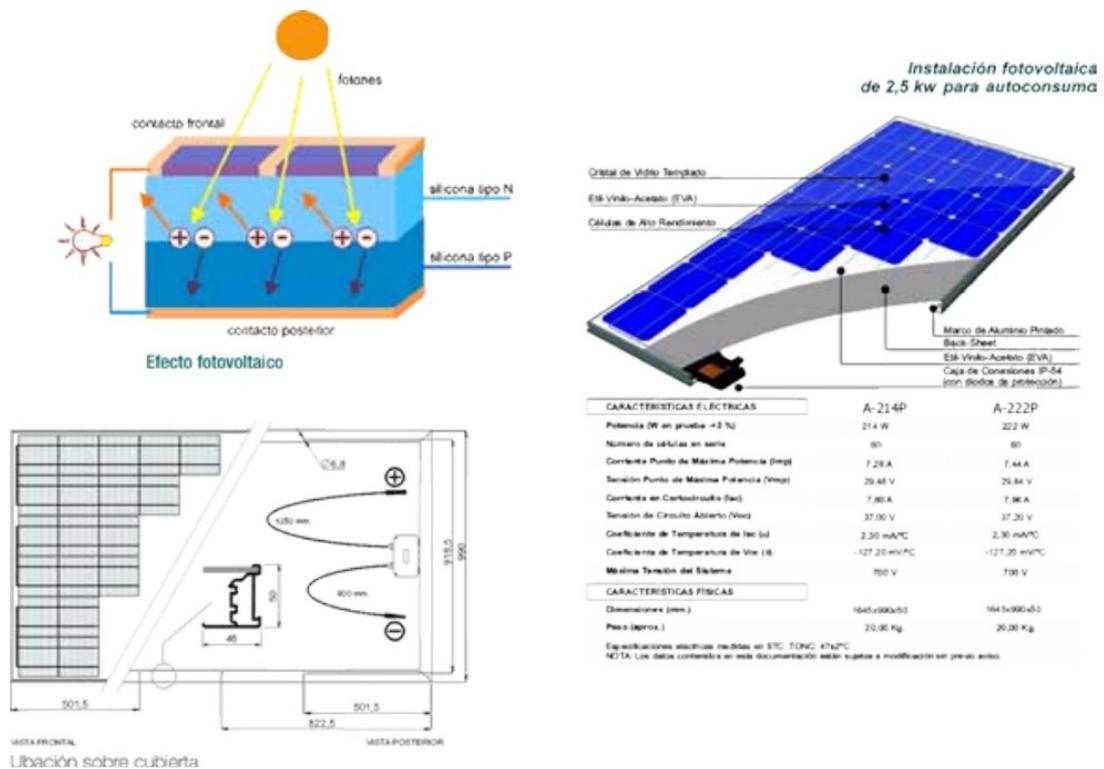


Fig. 48. Photovoltaic panels

Potenza Nominale	30 kW
Range di potenza	8.4 – 30 kW
Pressione massima operativa	3.5 bar

Tab. 9. Biomass boiler data

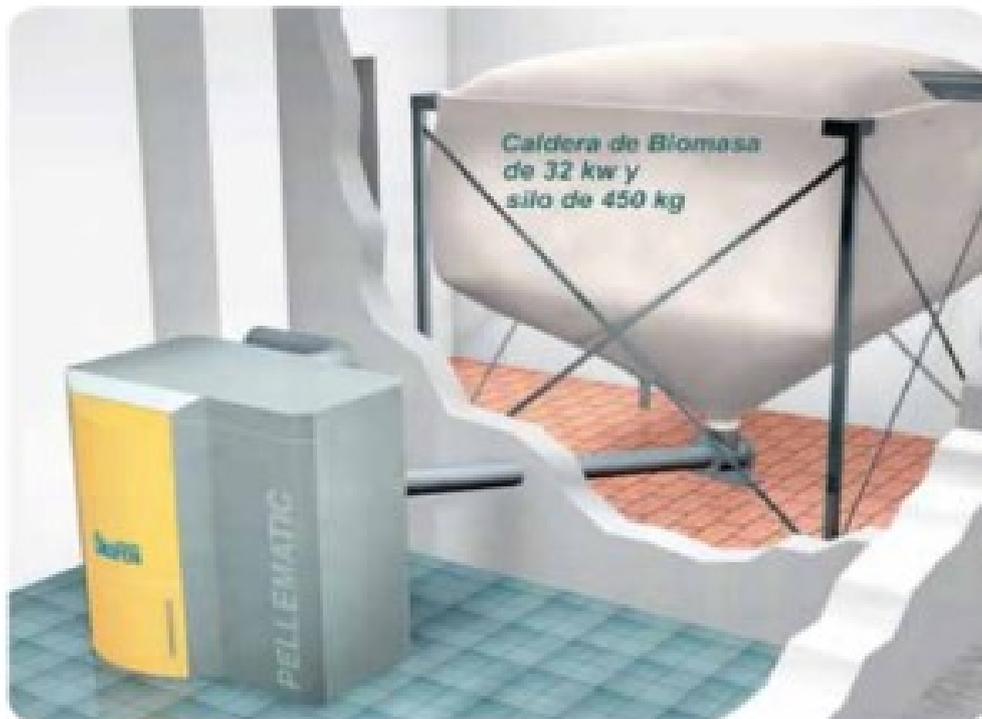
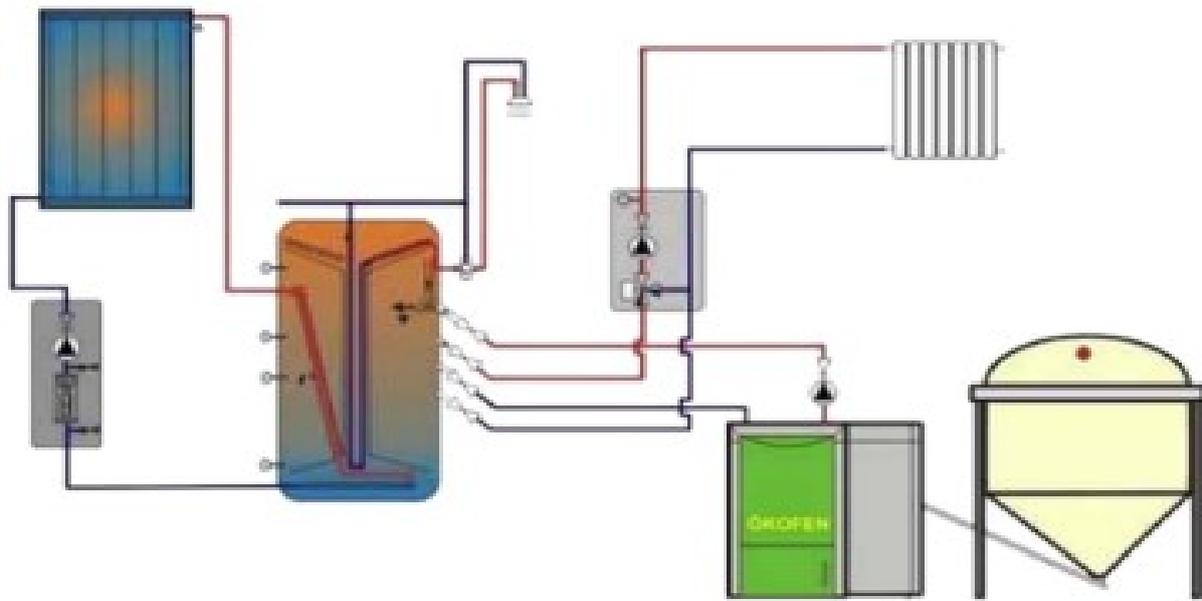


Fig. 49. Biomass boiler

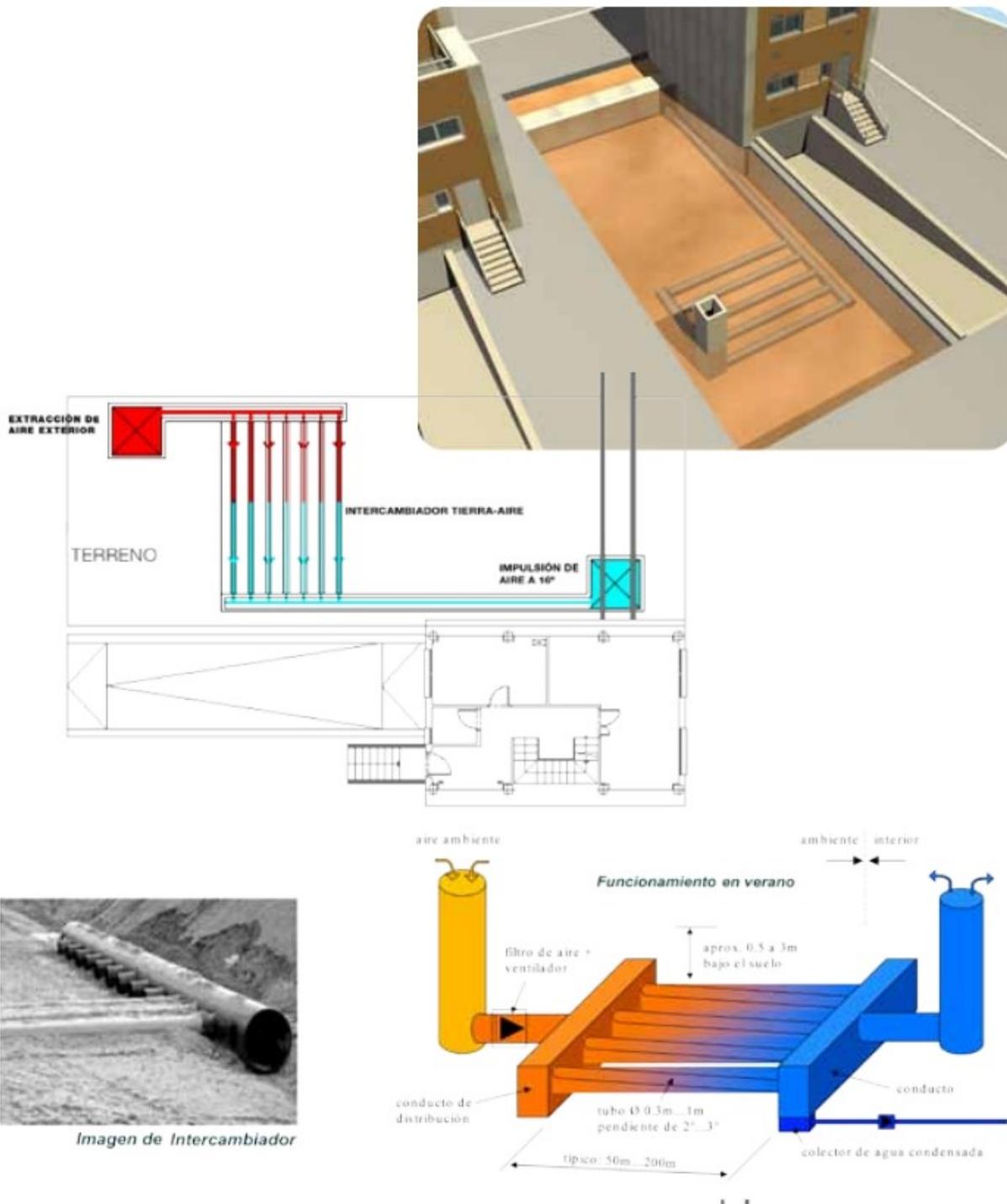


Fig. 50. Geothermal heat exchanger

I vantaggi del riscaldamento a radiatori sono che hanno una manutenzione ridotta, la diffusione del calore è molto confortevole e sono facili da montare. L'impianto di riscaldamento installato nelle abitazioni sperimentali è un circuito di riscaldamento costituito da due tubi, mandata e ritorno, collegati alla caldaia a biomassa(pellet).



Fig. 51.Radiators

Utilizzo	Riscaldamento Acqua-Aria
Generatore di calore	Caldaia a biomassa
Potenza di riscaldamento	11668 kcal/h o 13.57 kW per locale(104 kcal/h per elemento)

Tab. 10.Radiators data



Fig. 52.Slabs positioning

Utilizzo	Riscaldamento a pavimento
Generatori di calore	Caldaia a biomassa, Interscambio terra-aria
Passo / Potenza approssimata	18/20 cm / 90 W/m ²

Tab. 11.Slabs data

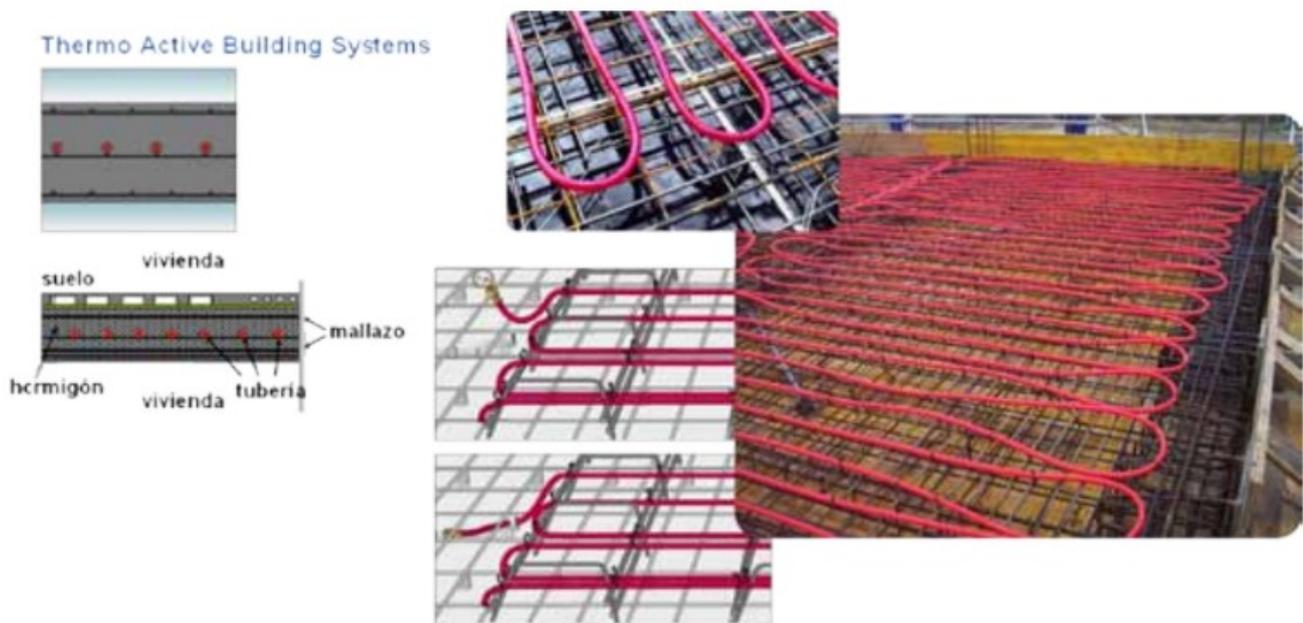


Fig. 53.Slabs



Fig. 54. Air ducts

Utilizzo	Immissione di aria trattata termicamente all'interno dell'ambiente da climatizzare
Generatori di calore	Caldaia a biomassa, Pompa di calore, interscambio d'aria terra-aria
Potenza di riscaldamento	8.6 /6.93 /5.2 kW
Portata d'aria	330 /460 /600 m ³ /h
Potenza massima motore	57 W

Tab. 12. Fan coils data



Fig. 55.UTA

6.2 Il caso della simulazione

In questo capitolo vengono riportati tutti i diagrammi estrapolati dalle simulazioni effettuate. I parametri che verranno modificati per simulare gli scenari sono quelli legati all'occupazione e, in particolare per lo scenario "D", verranno alterati dei parametri legati alle ombreggiature ed alla potenza disponibile degli impianti HVAC. Gli scenari simulati sono quattro; suddivisi rispettivamente in questo determinato modo:

- A. Nello scenario "A" si è voluto simulare una condizione operativa standard; fra tutti questo è lo scenario più importante perché in prima battuta ci fornisce un confronto con la verosimiglianza del modello reale e in seconda istanza ci fornisce dei parametri di confronto con gli scenari critici che verranno simulati successivamente. Rispetto i parametri che varieranno nelle simulazioni successive qui si è mantenuta un profilo di occupazione standard come illustrato dettagliatamente nel capitolo 4. De facto il parametro di riferimento per la variazione di occupazione è un guadagno "k" responsabile dell'aumento o la riduzione rispetto ad una condizione standard che in questo caso darà uguale ad "1".

- B. Nello scenario "B" troviamo il primo caso critico: la domanda riferita al comfort all'interno di un edificio, soprattutto quando ci si trova in edifici non residenziali, è strettamente dipendente dall'occupazione. In questo caso si è voluto verificare quali fossero le ripercussioni sui KPI circa condizioni per le quali la domanda di occupazione fosse triplicata. Questo scenario è stato pensato come risposta alla domanda "cosa succederebbe al comfort se, per svariati motivi, il dormitorio universitario si dovesse trovare nella condizione di dover ospitare per un anno un altro dormitorio?"

- C. Nello scenario "C" l'occupazione è stata ridotta al 30% rispetto una condizione standard. L'occupazione è un parametro che può calare drasticamente per svariati

motivi, come ad esempio dei periodi di vacanze estive o natalizie. Durante la pandemia di Covid-19 le residenze degli studenti “fuori-sede” hanno subito una notevole diminuzione di occupazione:” cosa cambia per i consumi? È possibile diminuire gli stessi a parità di comfort?”

- D. Il quarto e ultimo scenario è stato pensato in ottica di autosufficienza energetica. Lo scenario “D” guarda a quelle realtà che cercano l’autosufficienza energetica anche in termini di mobilità. Le auto elettriche sono una realtà sempre più presente e l’installazione di una colonnina di ricarica nella propria abitazione, magari avvalendosi degli ecoincentivi disponibili, è da tenere in considerazione. Lo scenario è stato pensato con l’aggiunta di un’interferenza non dichiarabile nel senso che le prestazioni energetiche di un edificio non possono essere inficiate solo da interventi di riqualificazione energetica, strutturale o di salvaguardia della vita; anche una semplice variazione sulle ombreggiature può portare delle variazioni sui parametri di comfort. Che impatto avrebbe il montaggio di un tendaggio interno su ogni finestra? La diminuzione di potenza disponibile per gli impianti HVAC dovuta dall’installazione di una colonnina di ricarica elettrica che impatto avrebbe sul comfort?

Nei successivi capitoli verranno riportati solo i risultati in forma di diagrammi riferiti ad ogni scenario di simulazione. Si rimanda quindi al capitolo 7 per le analisi che si sono avute sui risultati mostrati. Come descritto nei capitoli precedenti verranno messi a confronto i valori ritenuti significativi per il comfort e per il risparmio energetico.

6.2.a Risultati simulazione CASO A

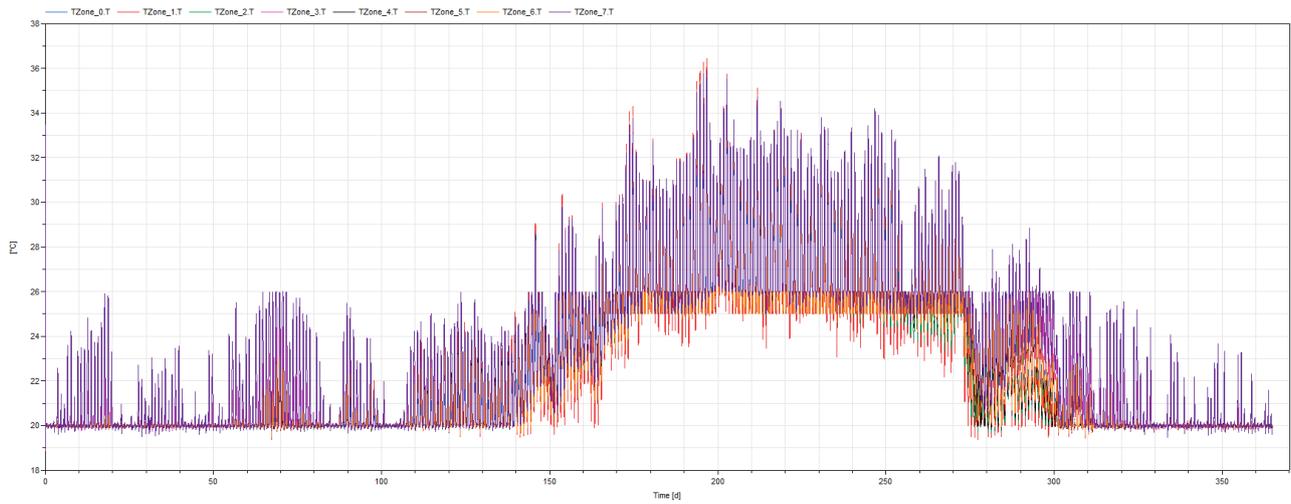


Fig. 56 - Temperature di zona [Caso A]

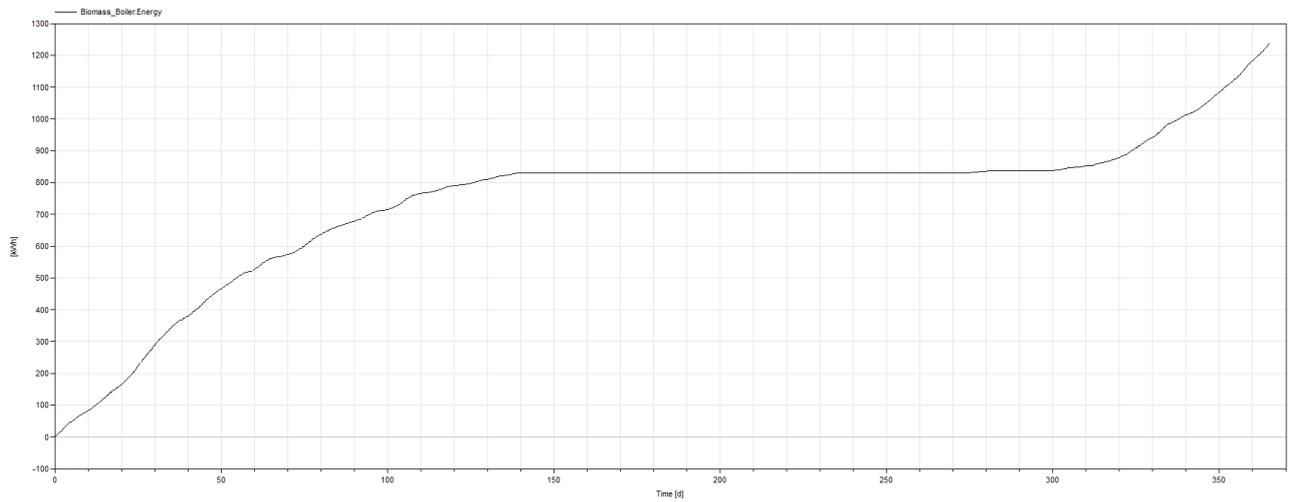


Fig. 57 - Energia consumata dal Boiler_1238 kWh [Caso A]

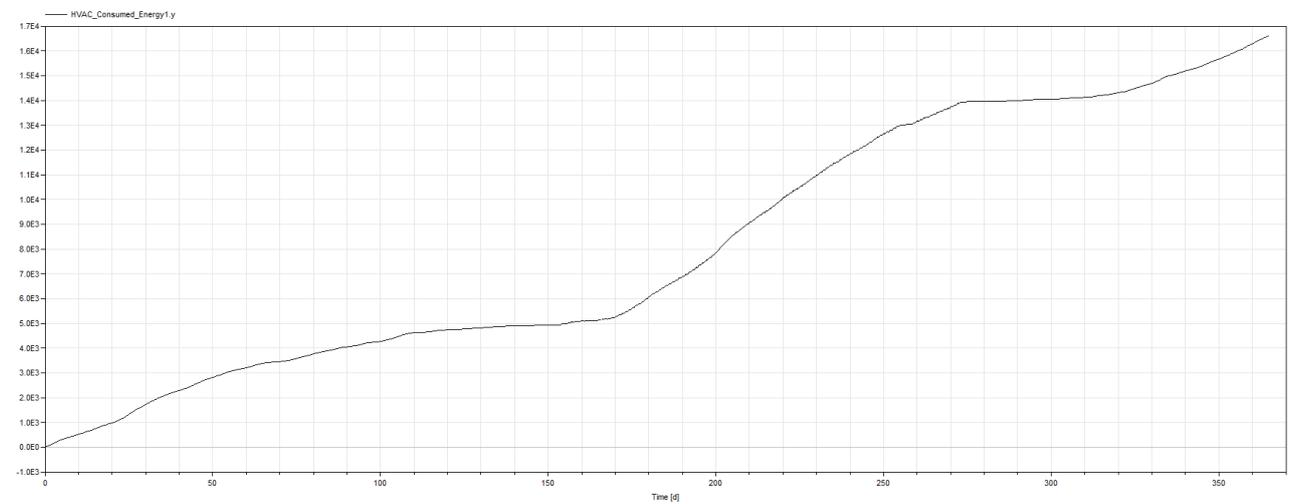


Fig. 58 - Energia consumata dall' HVAC_16940 kWh [Caso A]

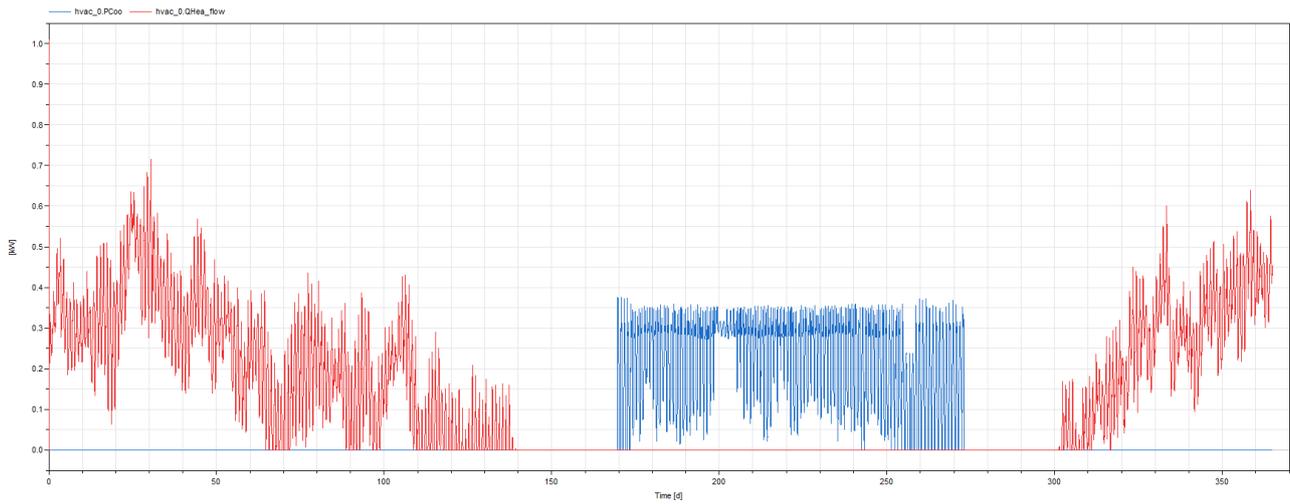


Fig. 59 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona atrio e scale[Stairwell]

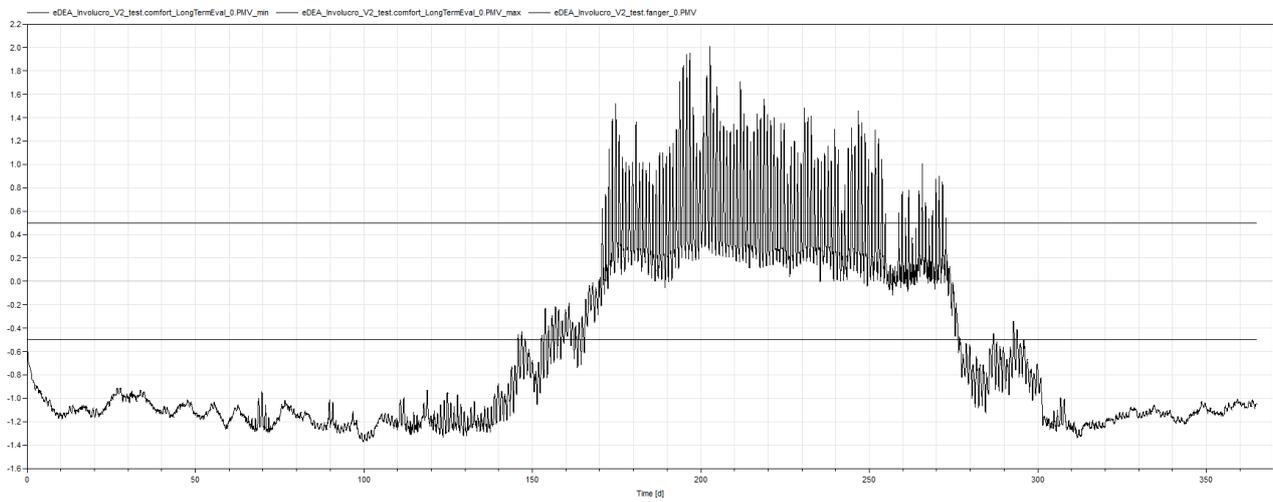


Fig. 60 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Atrio_[Stairwell]

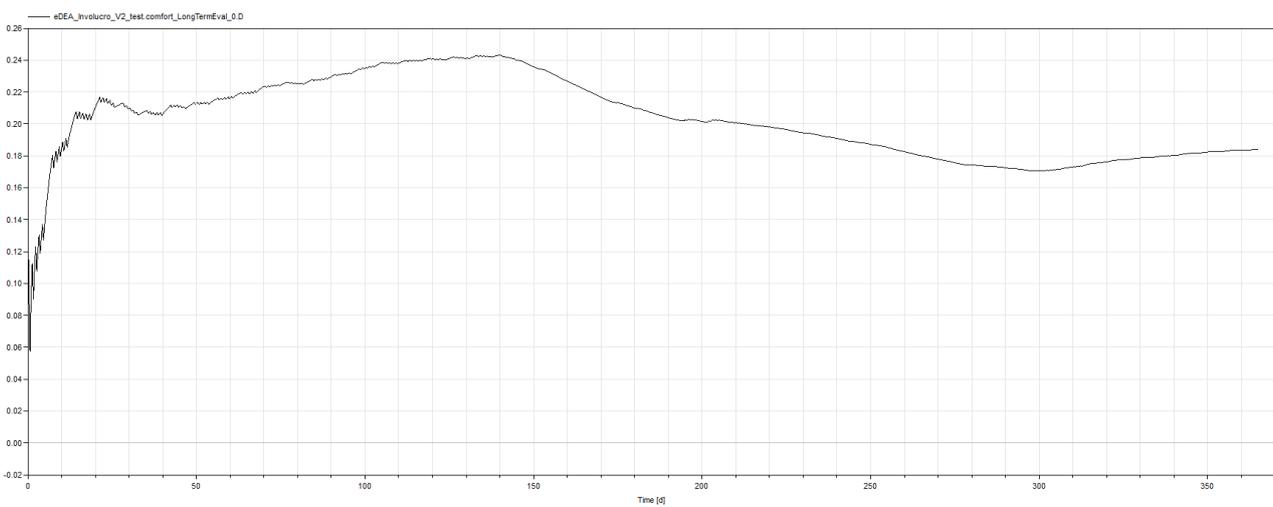


Fig. 61 - Metodo D di zona - Media PPD=18%_Zona Atrio[Stairwell]

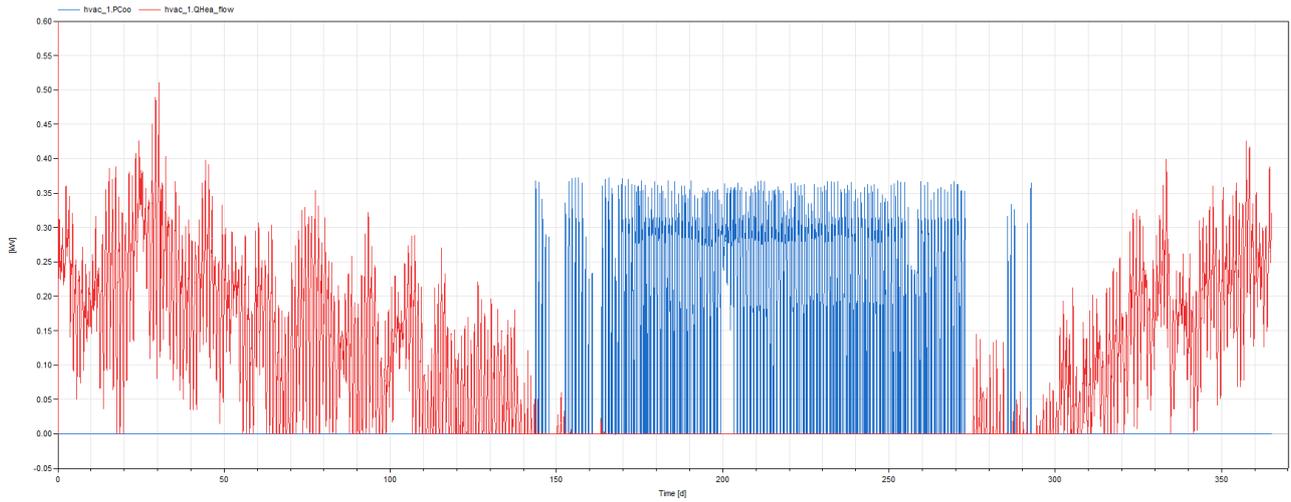


Fig. 62 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Bagno PT[Bath]

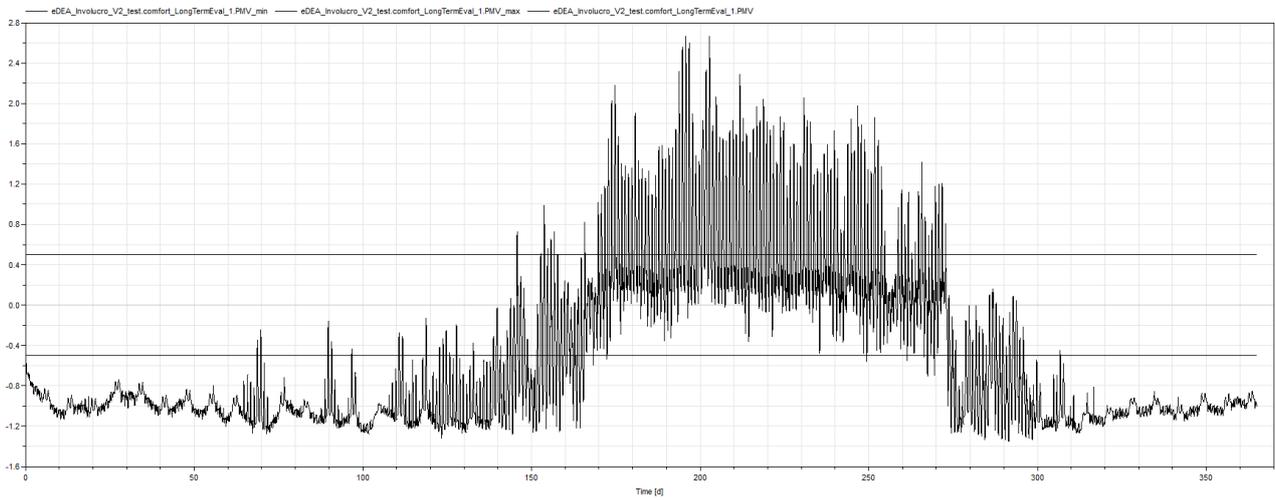


Fig. 63 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona BagnoPT_[Bath]

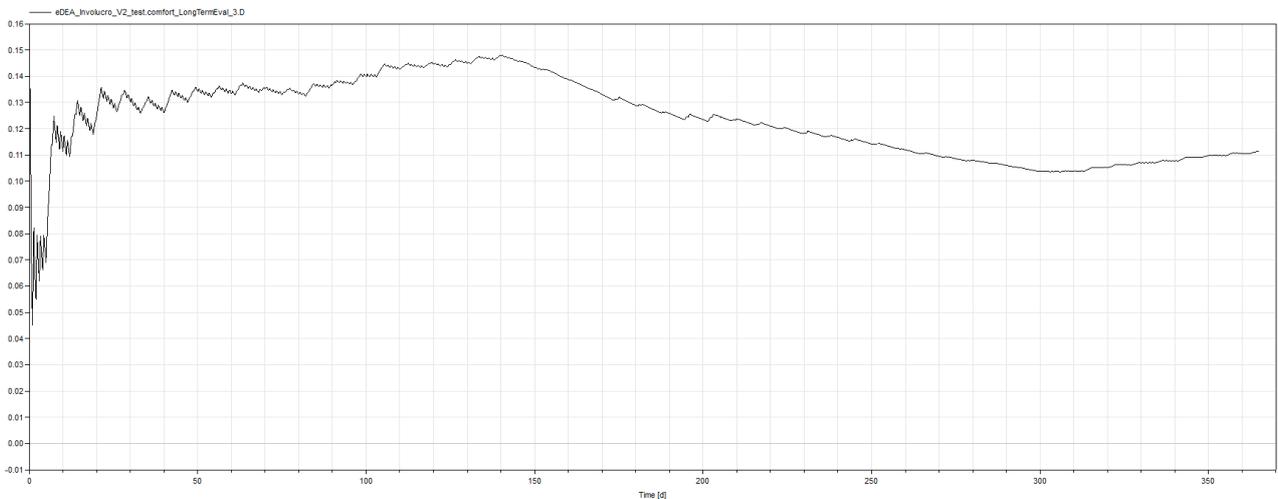


Fig. 64- Metodo D di zona - Media PPD=16%_BagnoPT[Bath]

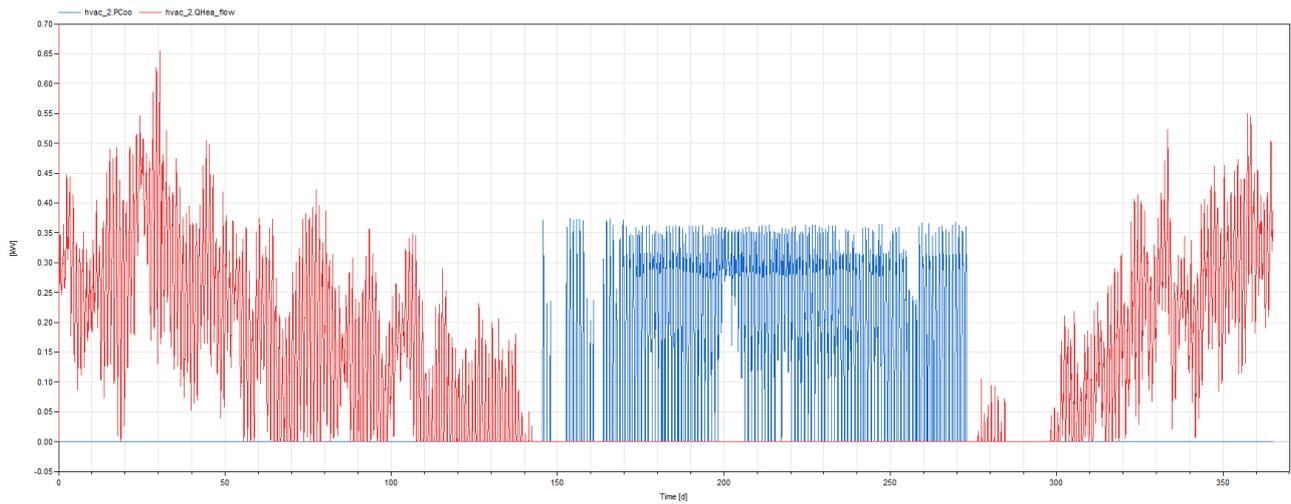


Fig. 65 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Cucina PT[Kitchen]

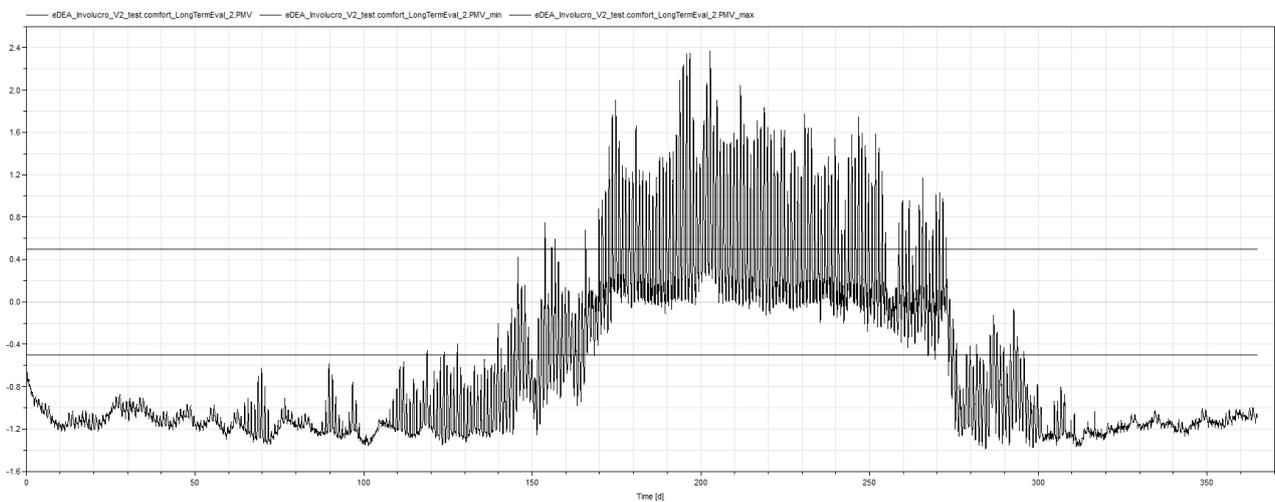


Fig. 66 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Cucina_[Kitchen]

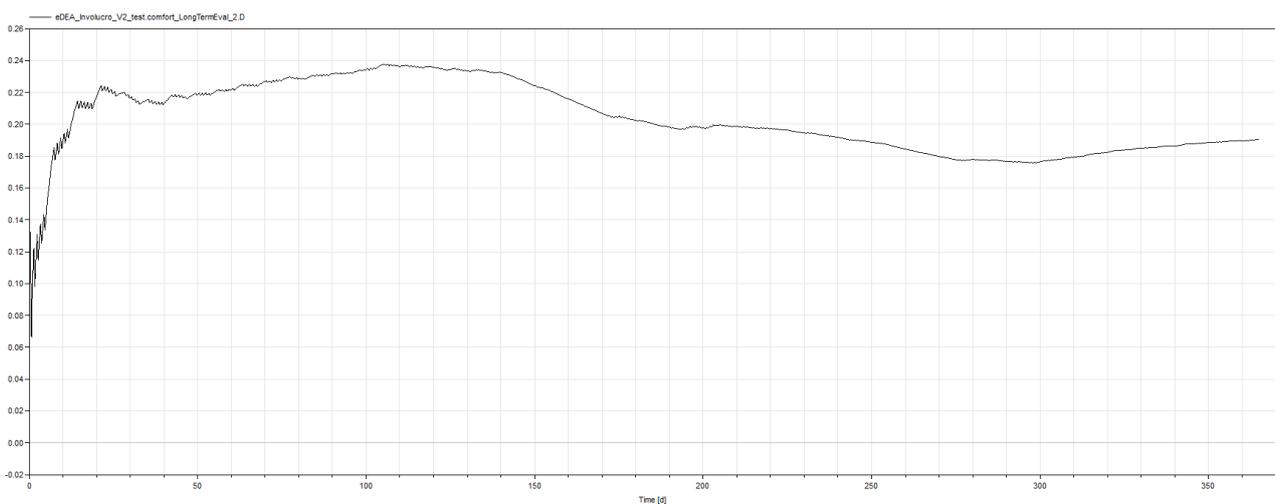


Fig. 67 - Metodo D di zona - Media PPD=18%_Cucina[Kitchen]

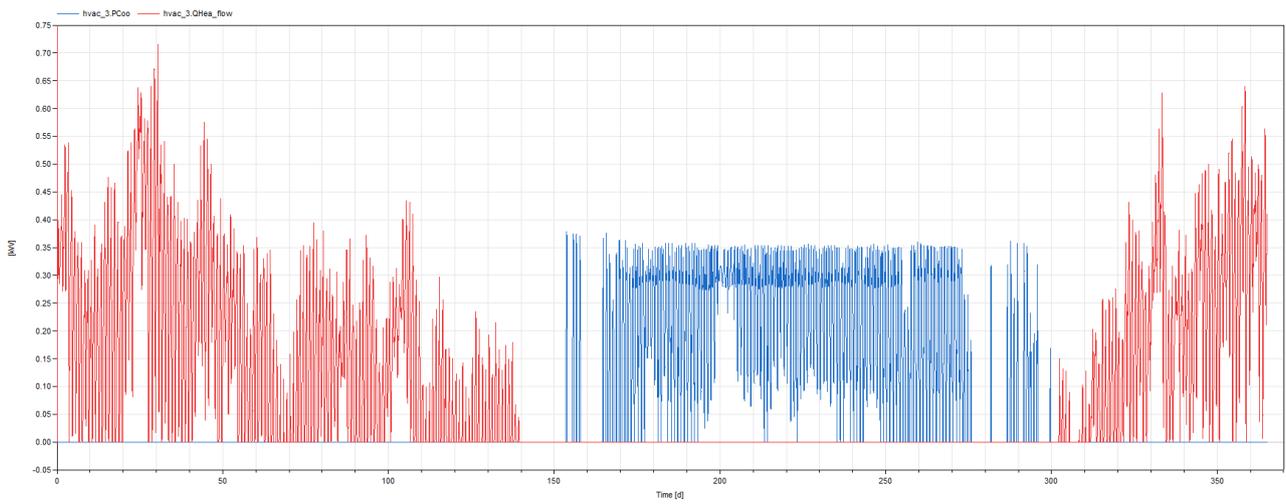


Fig. 68 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Salone comune[LivingRoom]

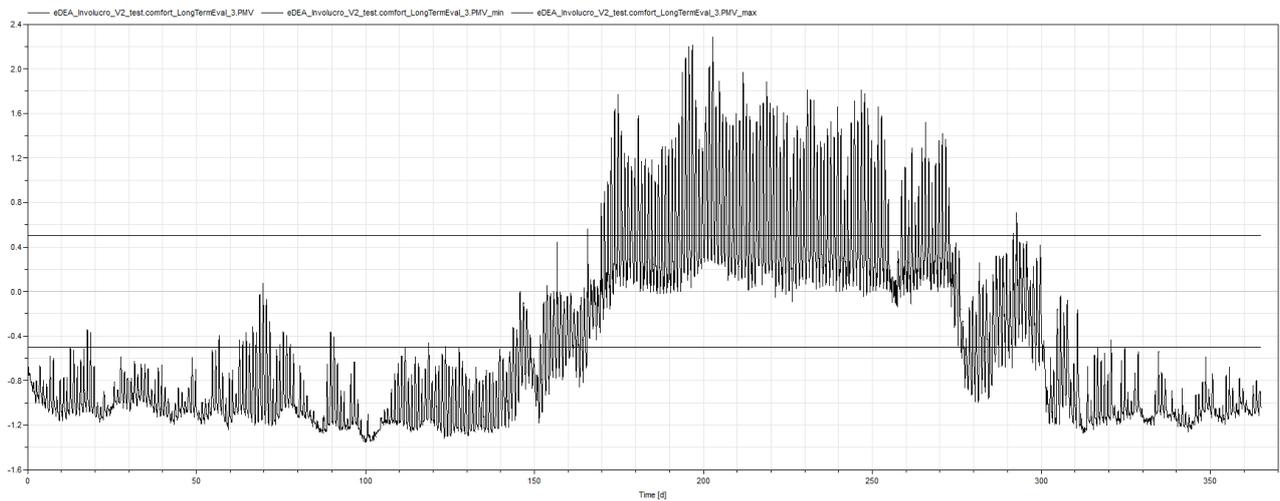


Fig. 69 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Salone_[LivingRoom]

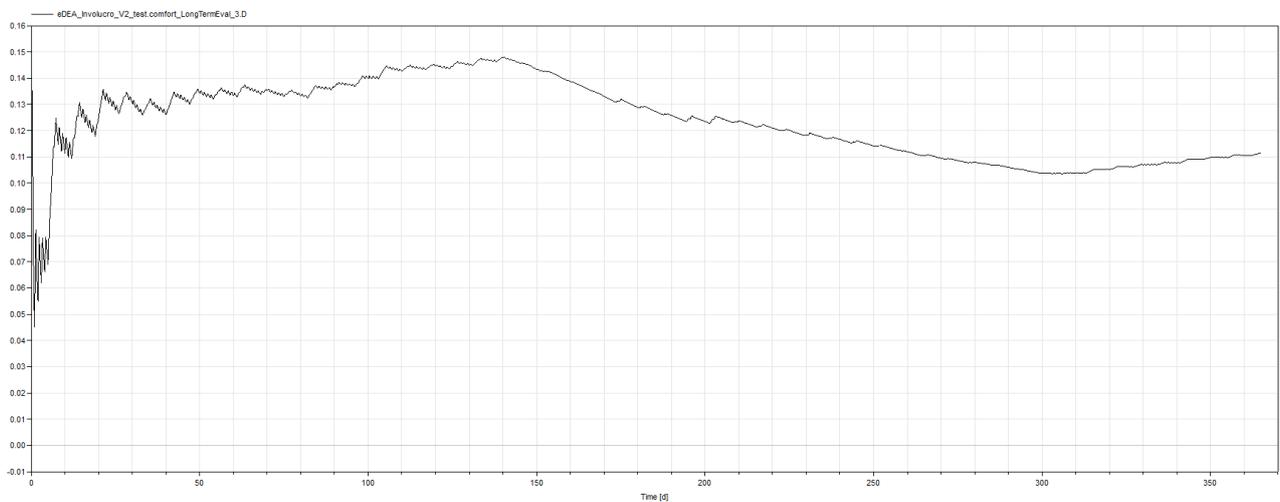


Fig. 70 - Metodo D di zona - Media PPD=16%_Salone[LivingRoom]

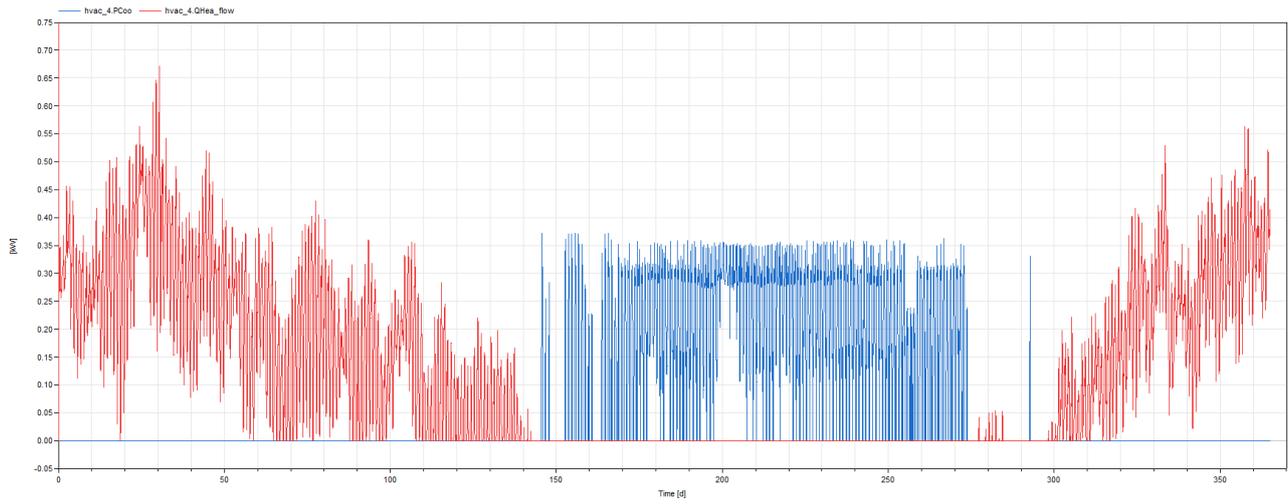


Fig. 71 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera3[Bedroom3]

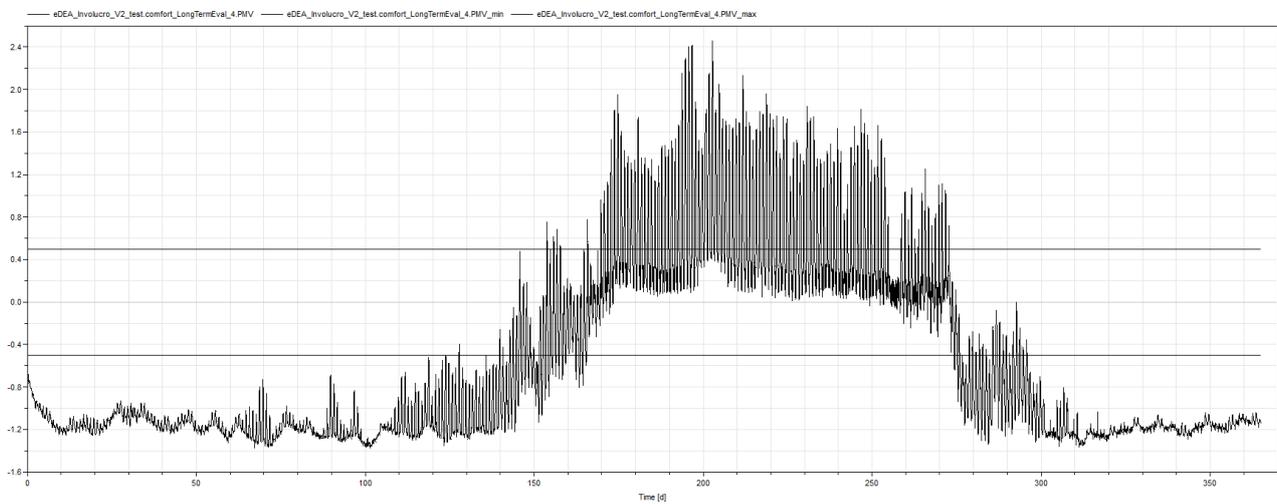


Fig. 72 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera3_[Bedroom3]

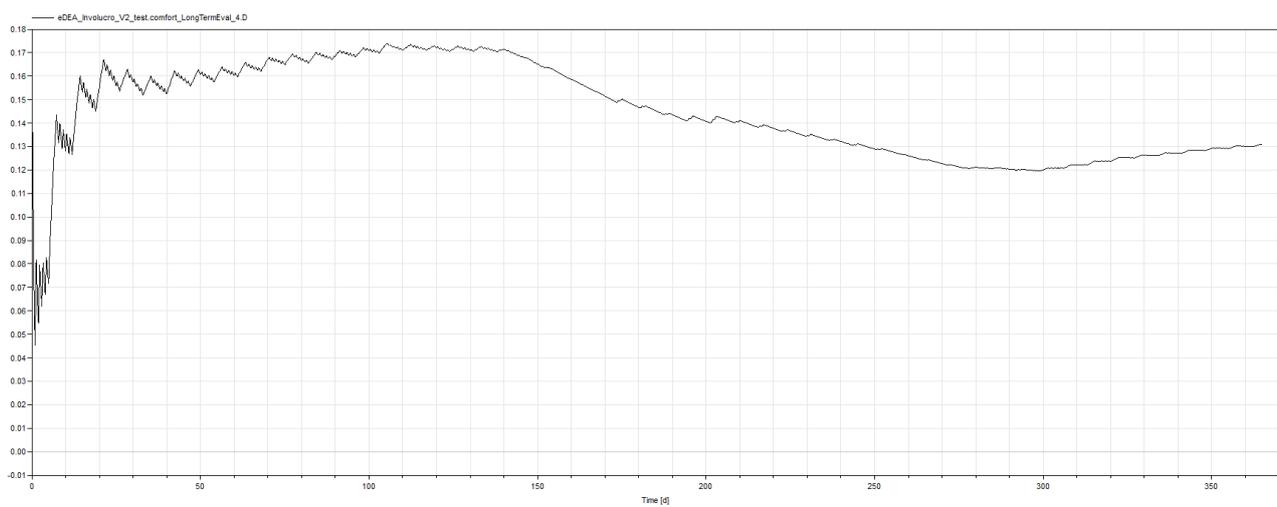


Fig. 73 - Metodo D di zona - Media PPD=19%_Camera3[Bedroom3]

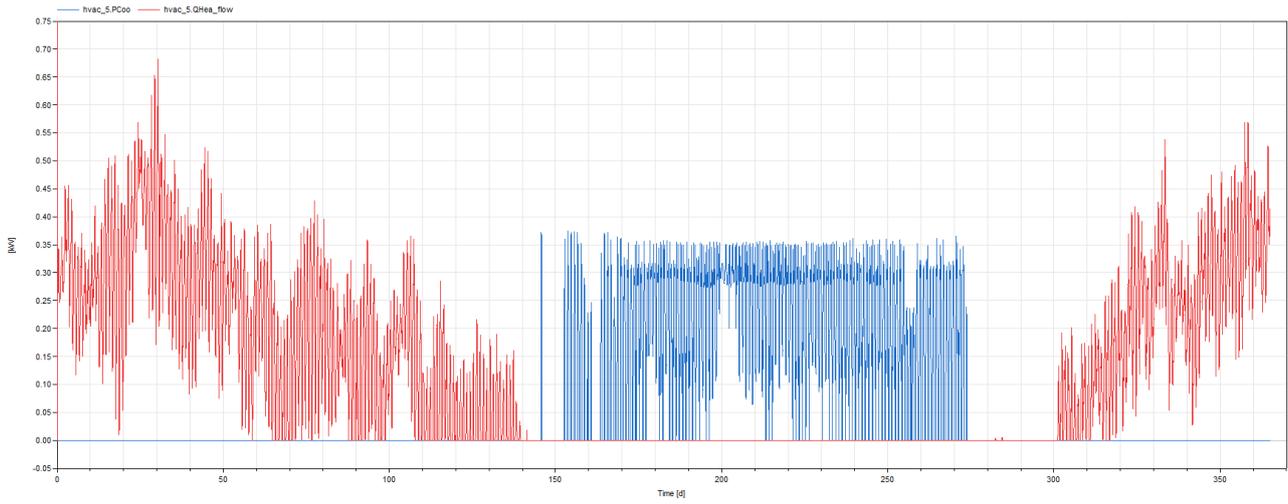


Fig. 74 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera2[Bedroom2]

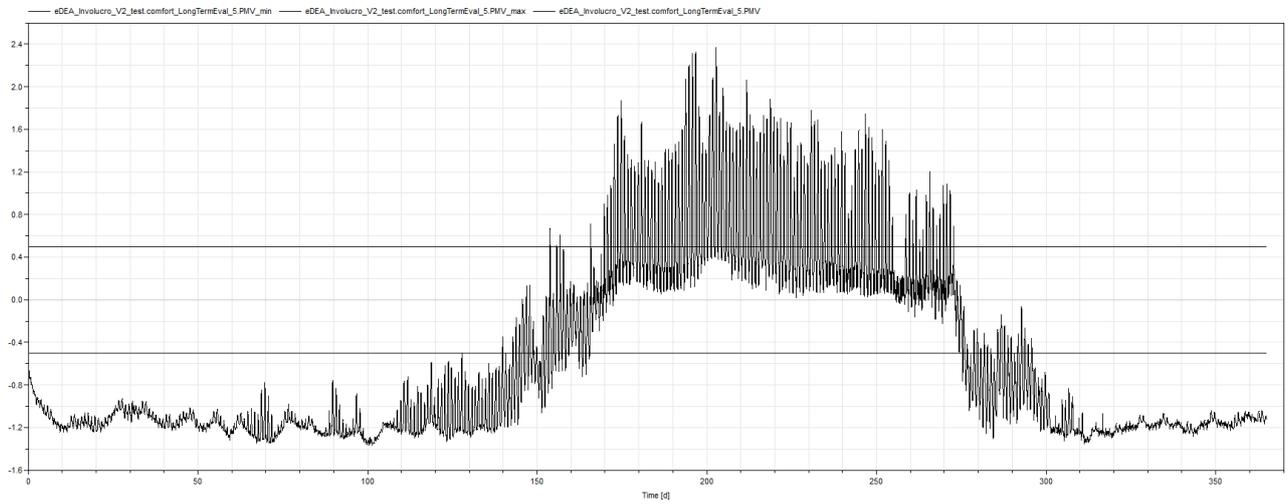


Fig. 75 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera2_[Bedroom2]

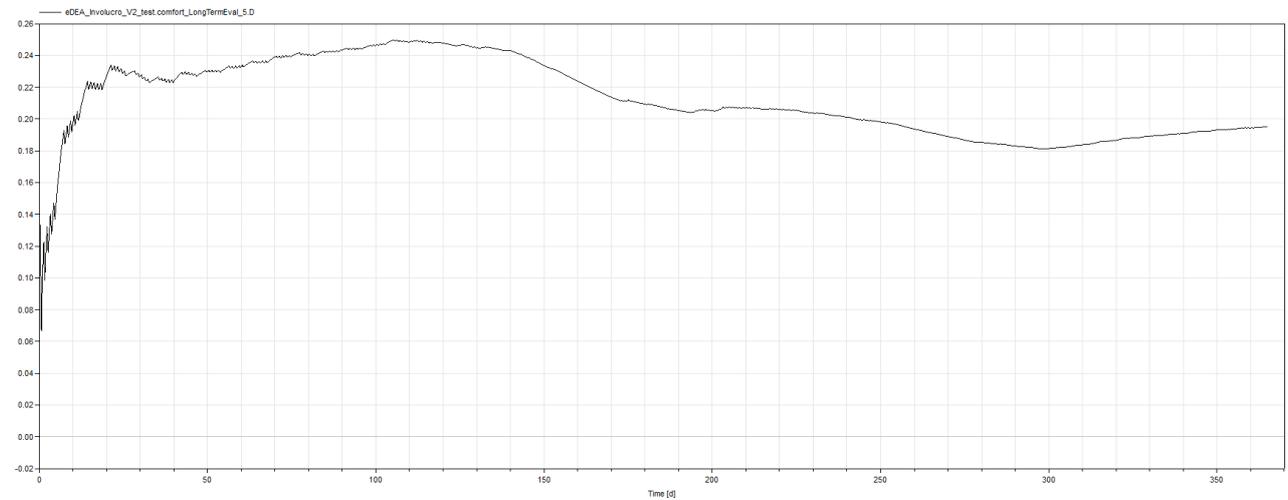


Fig. 76 - Metodo D di zona - Media PPD=19%_Camera2[Bedroom2]

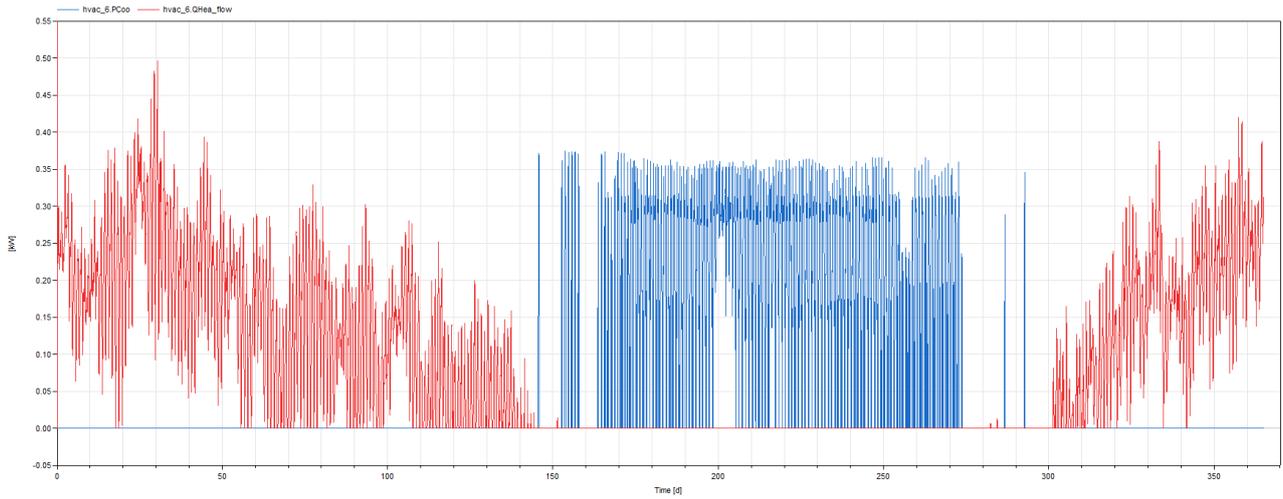


Fig. 77 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona BagnoPP[Bath1]

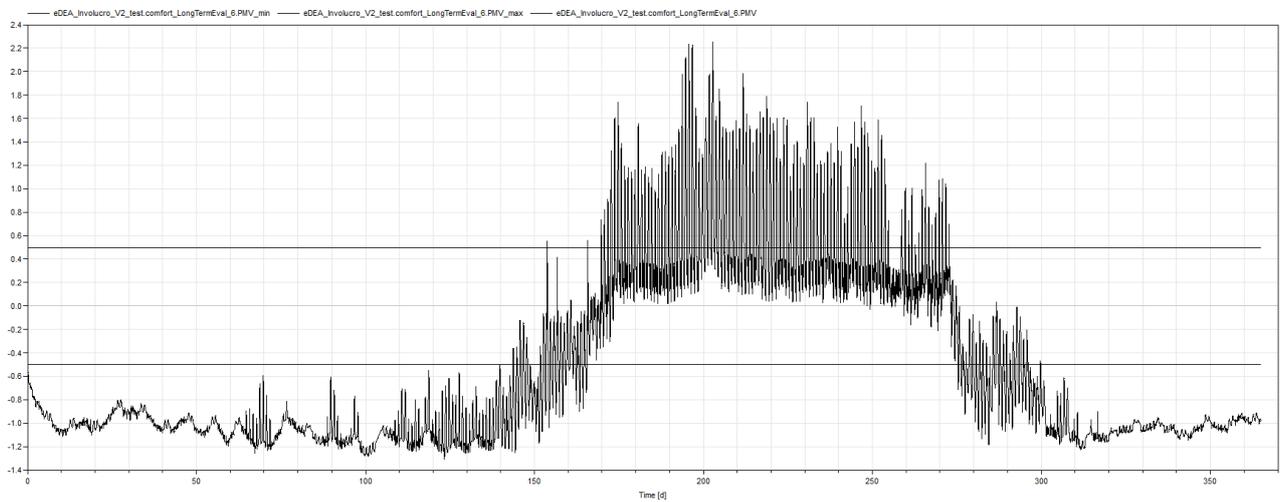


Fig. 78 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona BagnoPP_[Bath1]

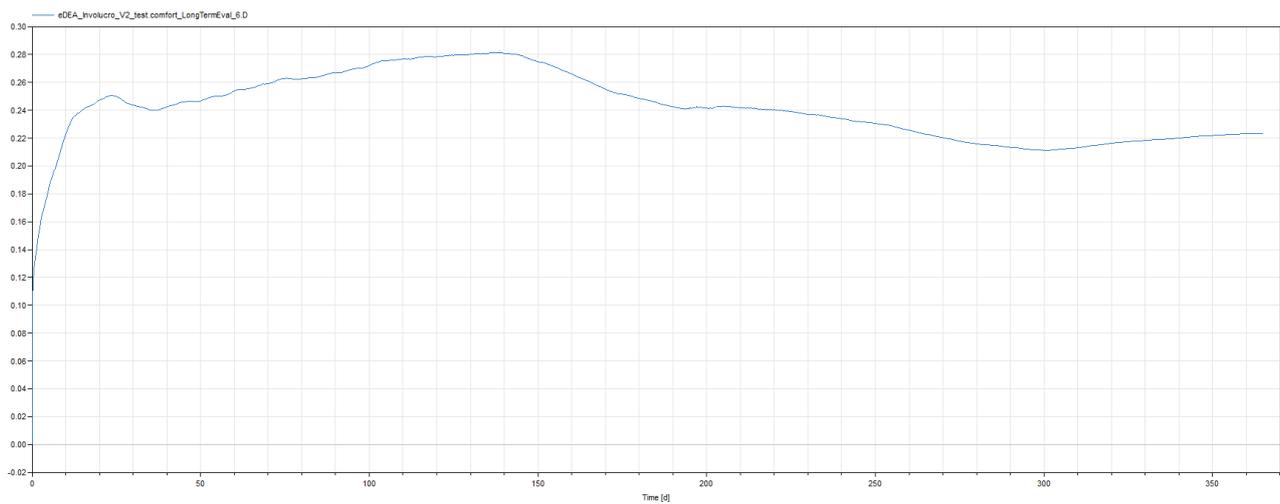


Fig. 79- Metodo D di zona - Media PPD=17%_BagnoPP[Bath1]

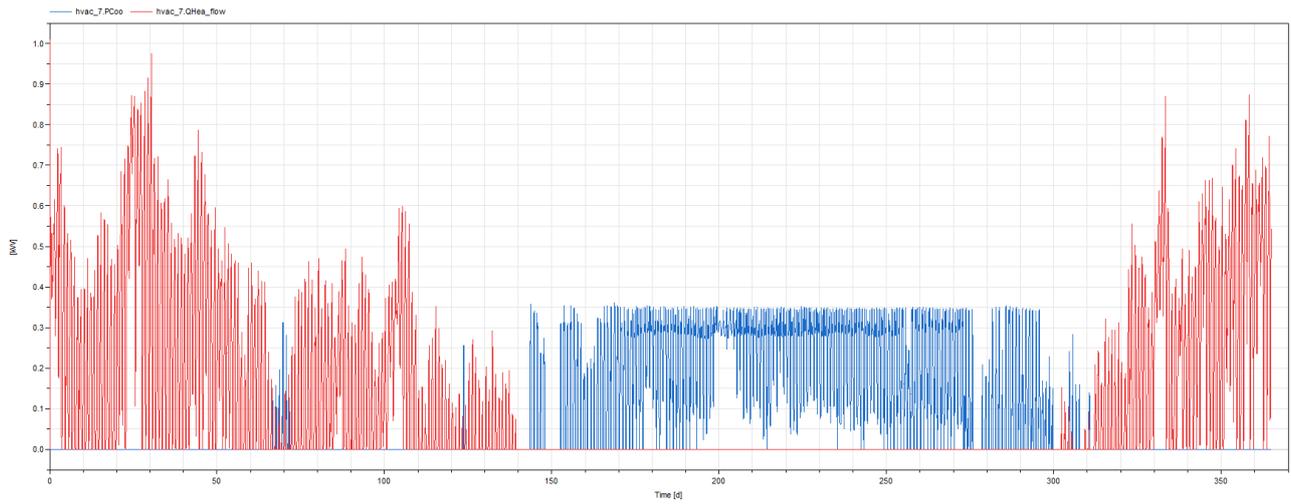


Fig. 80- Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera1[Bedroom1]

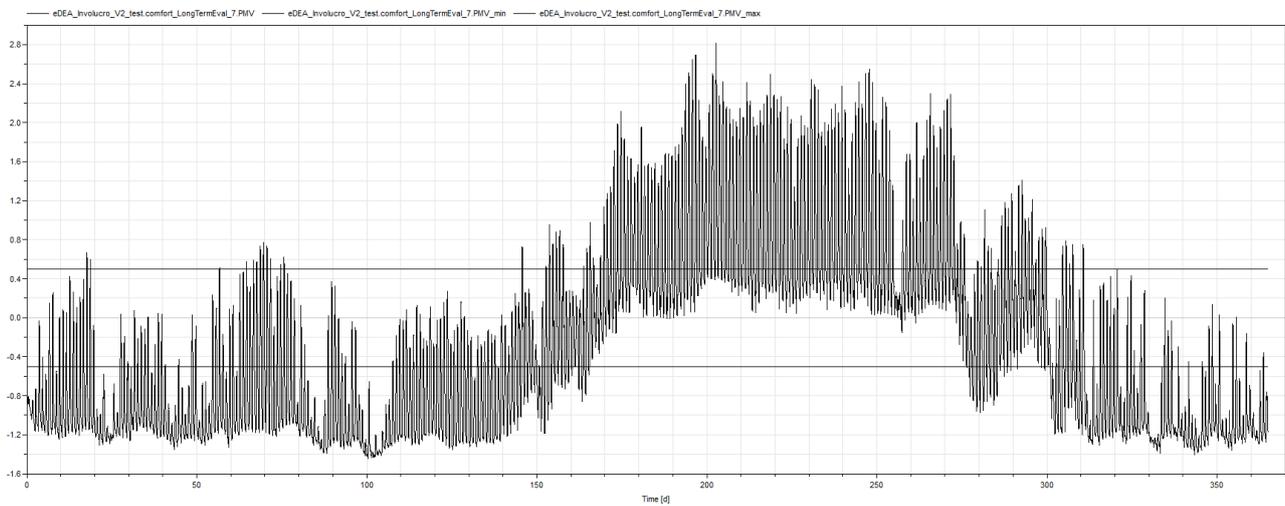


Fig. 81- PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera1_[Bedroom1]

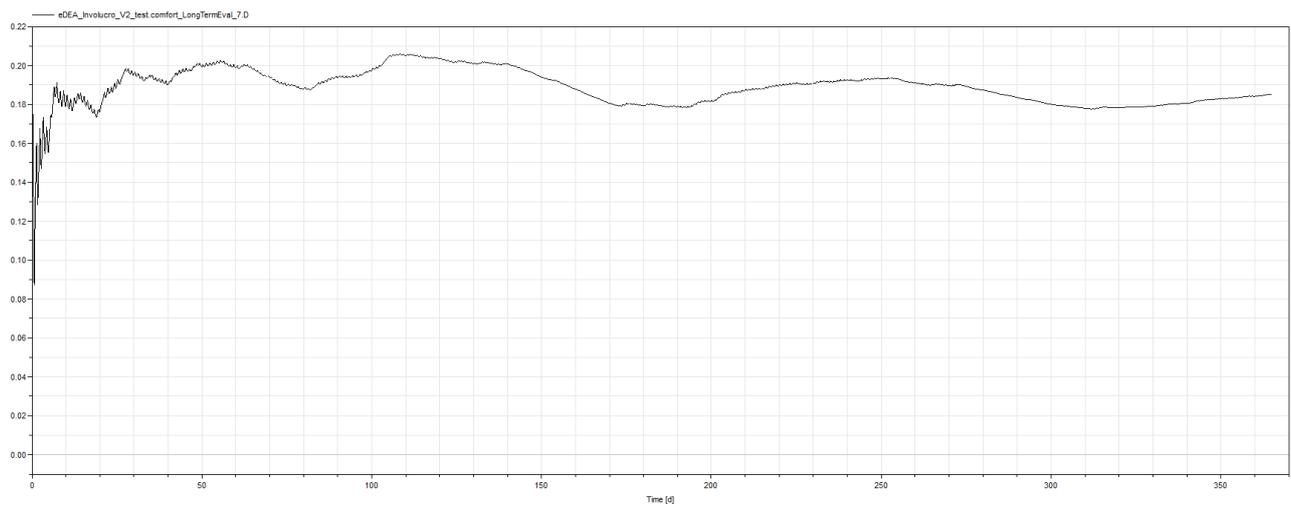


Fig. 82- Metodo D di zona - Media PPD=17%_Camera1[Bedroom1]

6.2.b Risultati simulazione CASO B

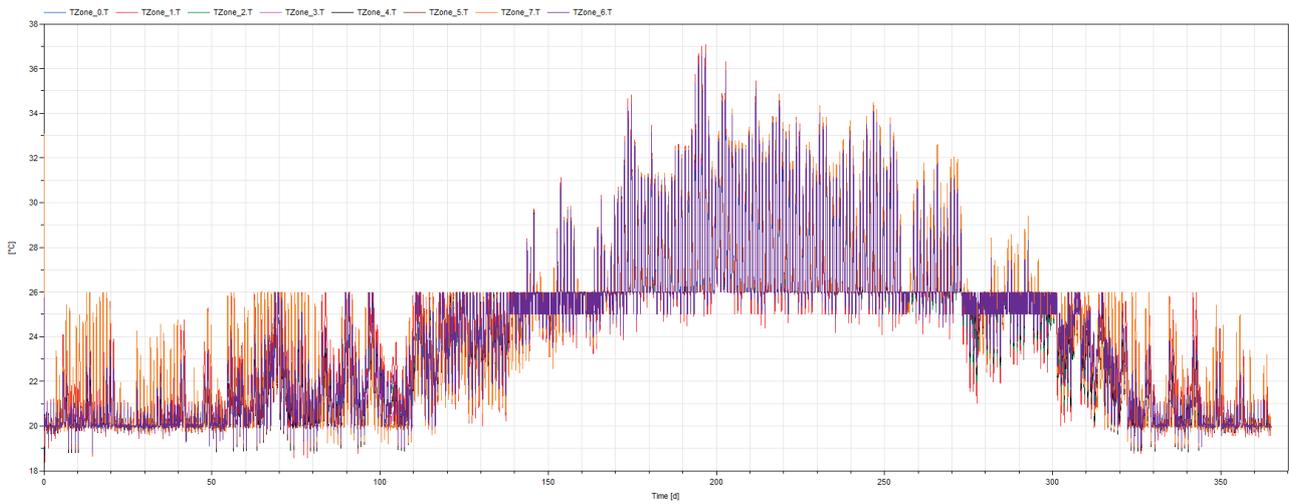


Fig. 83 - Temperature di zona [Caso B]

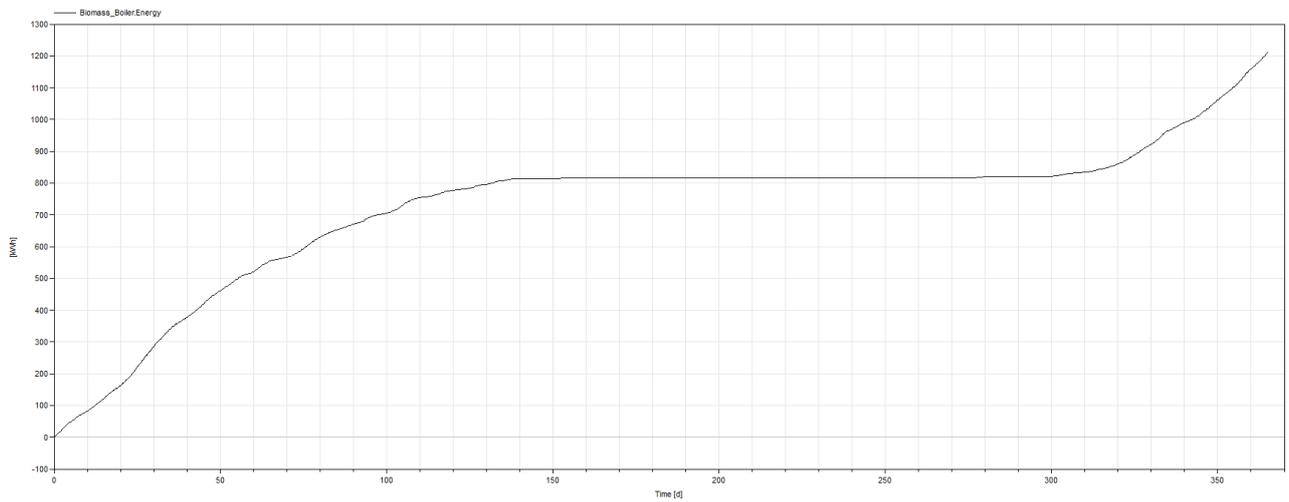


Fig. 84 - Energia consumata dal Boiler_1220 kWh_[Caso B]

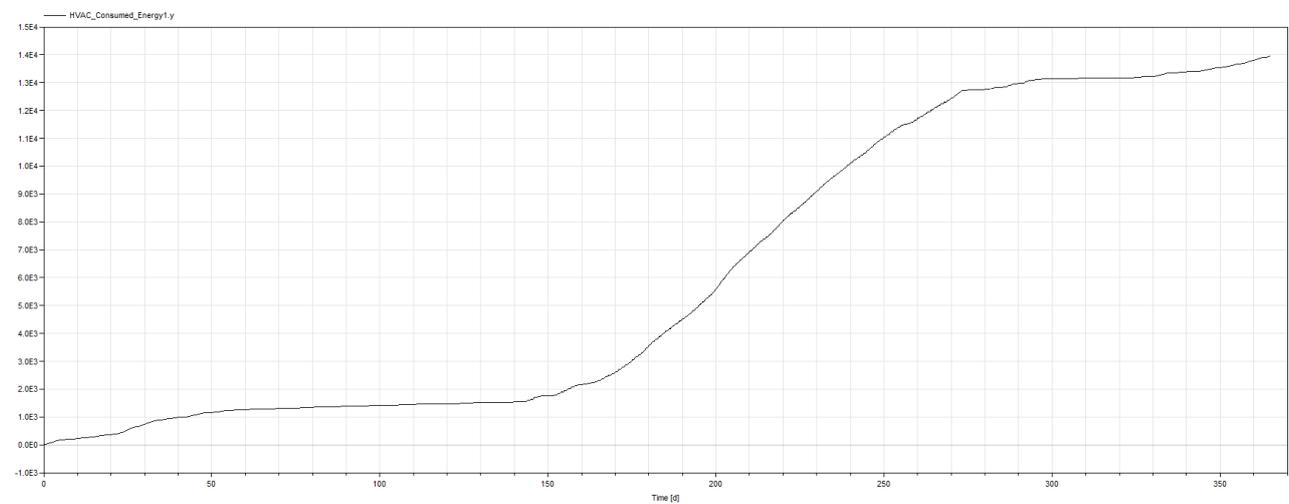


Fig. 85 - Energia consumata dall' HVAC_14415 kWh_[Caso B]

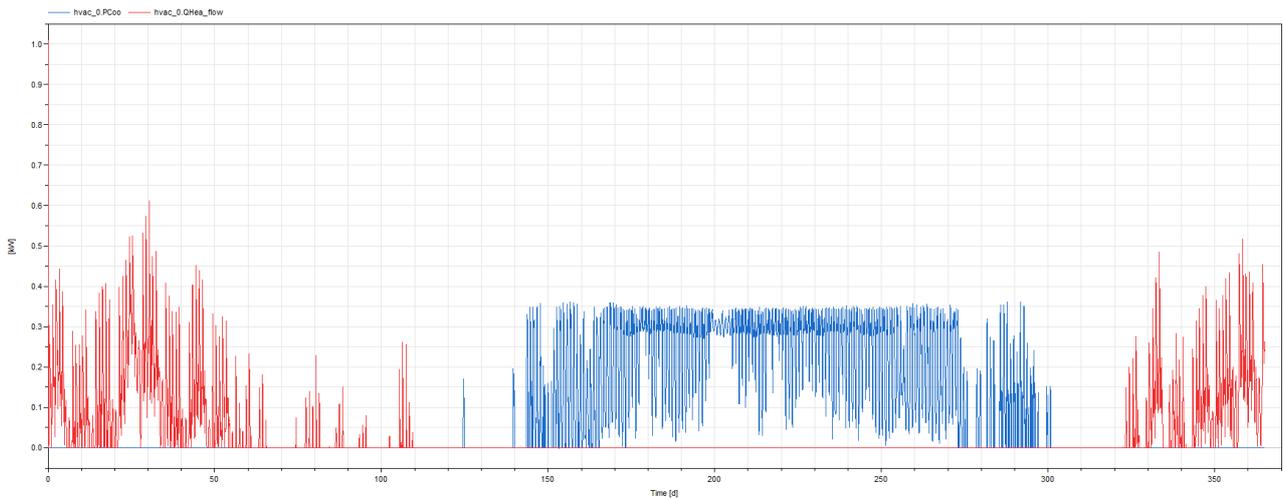


Fig. 86 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona atrio e scale[Stairwell]

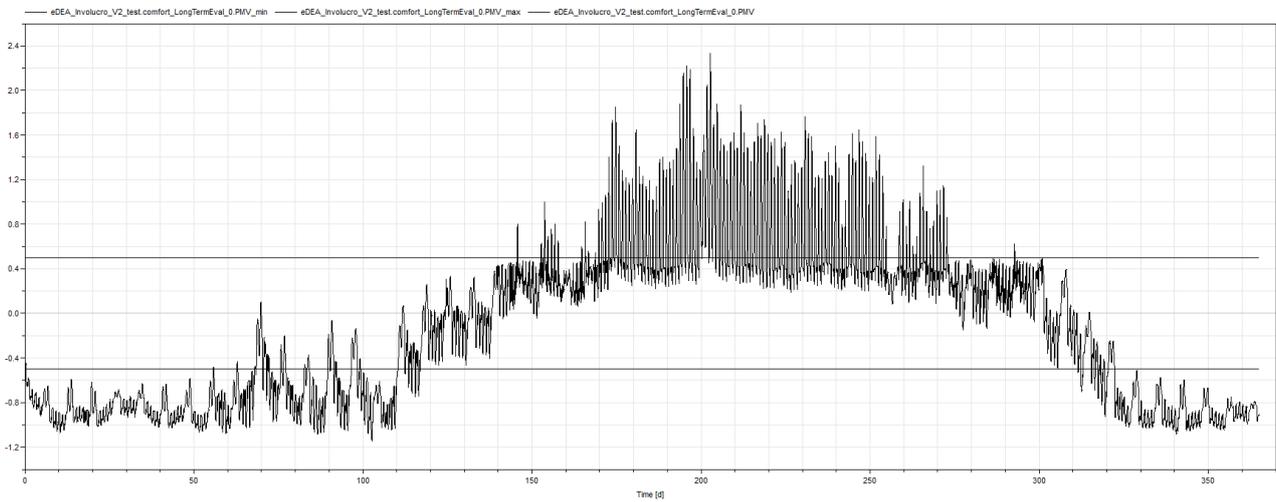


Fig. 87 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Atrio_[Stairwell]

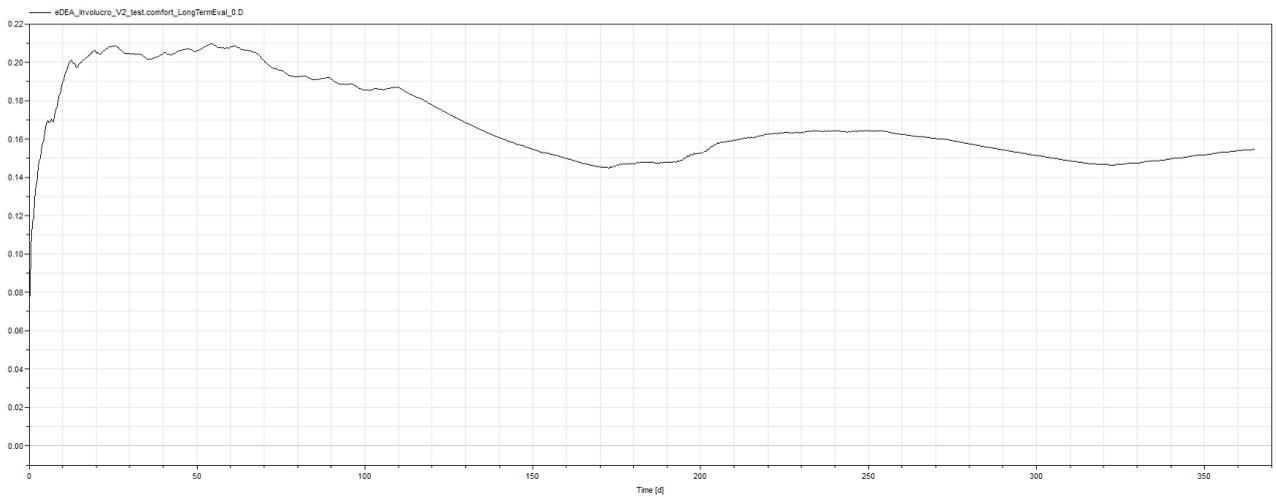


Fig. 88 - Metodo D di zona - Media PPD=12%_Zona Atrio[Stairwell]

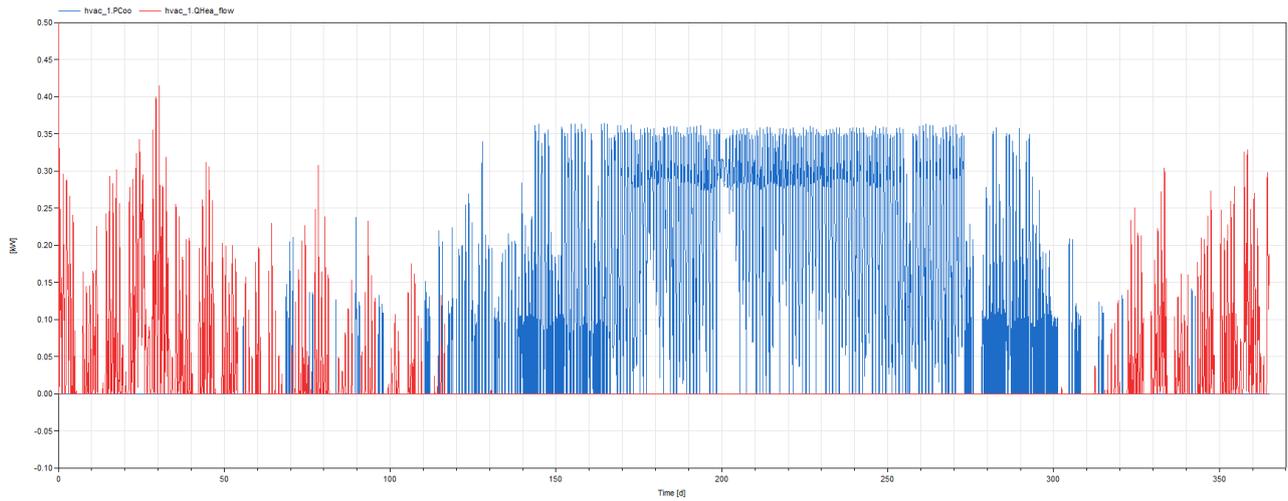


Fig. 89 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Bagno PT[Bath]

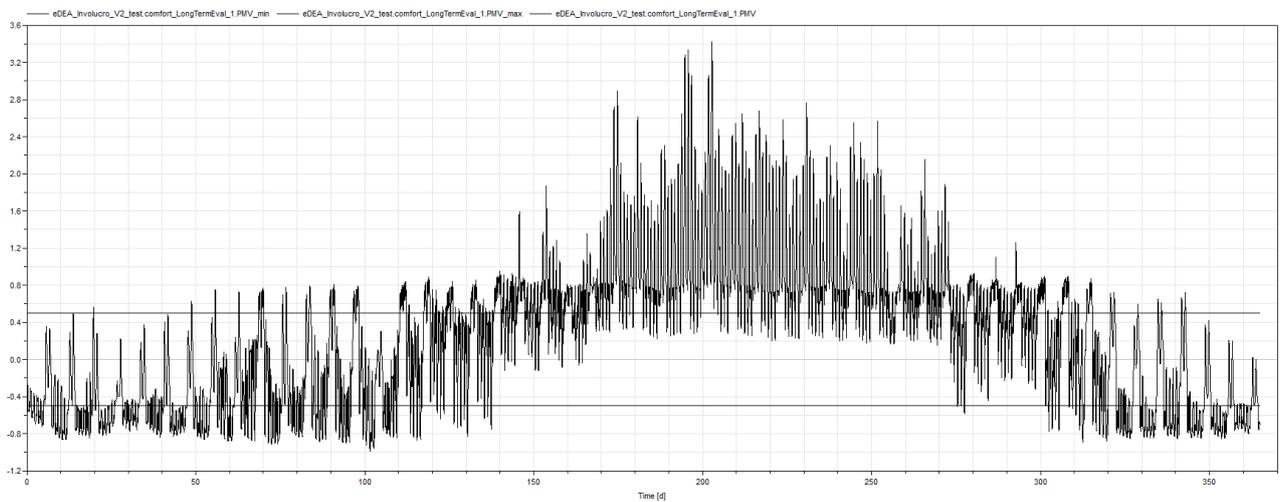


Fig. 90 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona BagnoPP_[Bath]

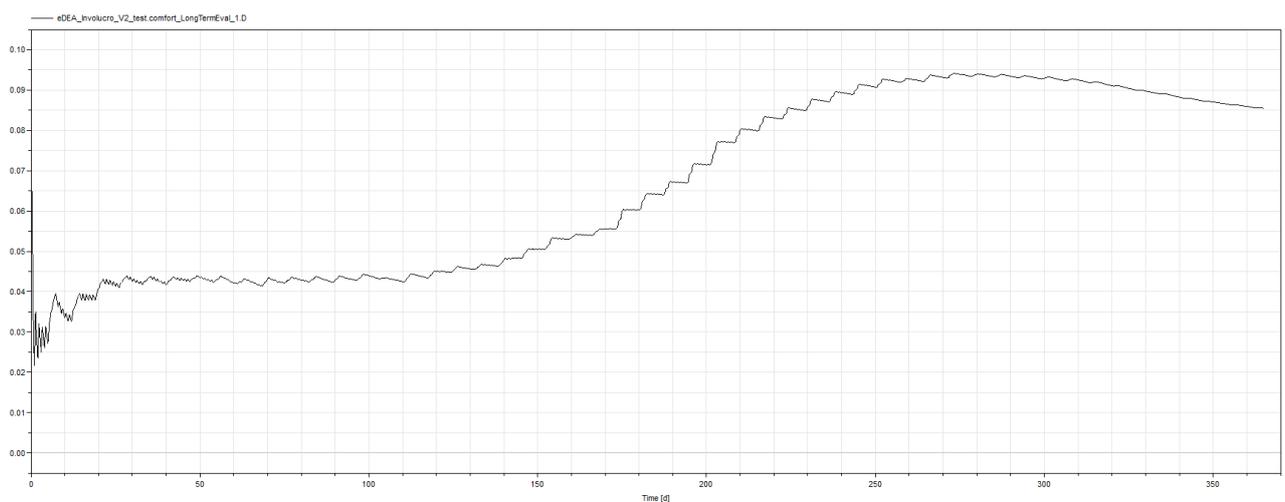


Fig. 91- Metodo D di zona - Media PPD=9%_BagnoPT[Bath]

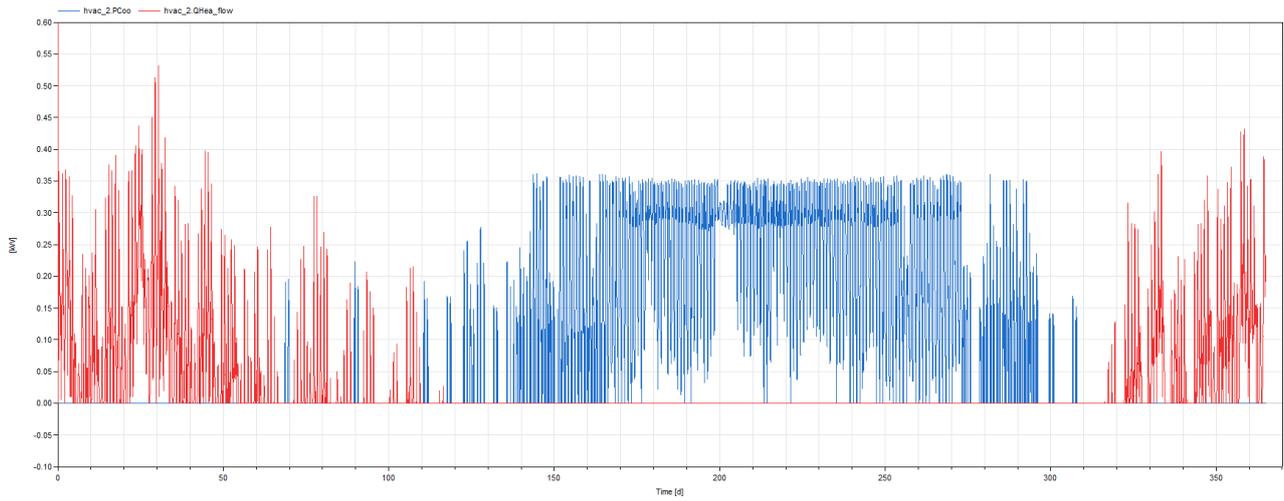


Fig. 92 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Cucina PT[Kitchen]

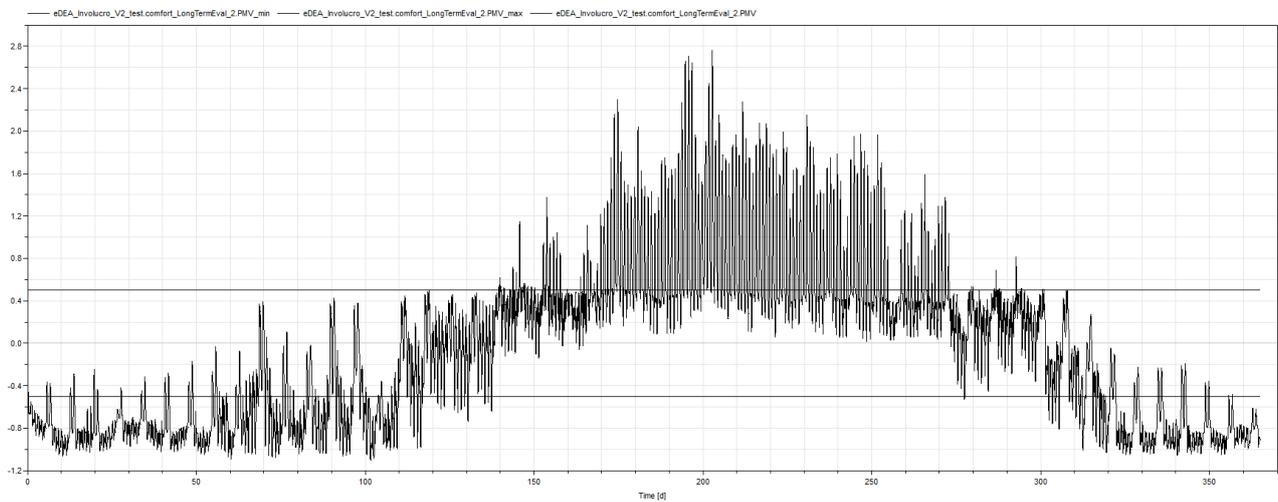


Fig. 93 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Cucina_[Kitchen]

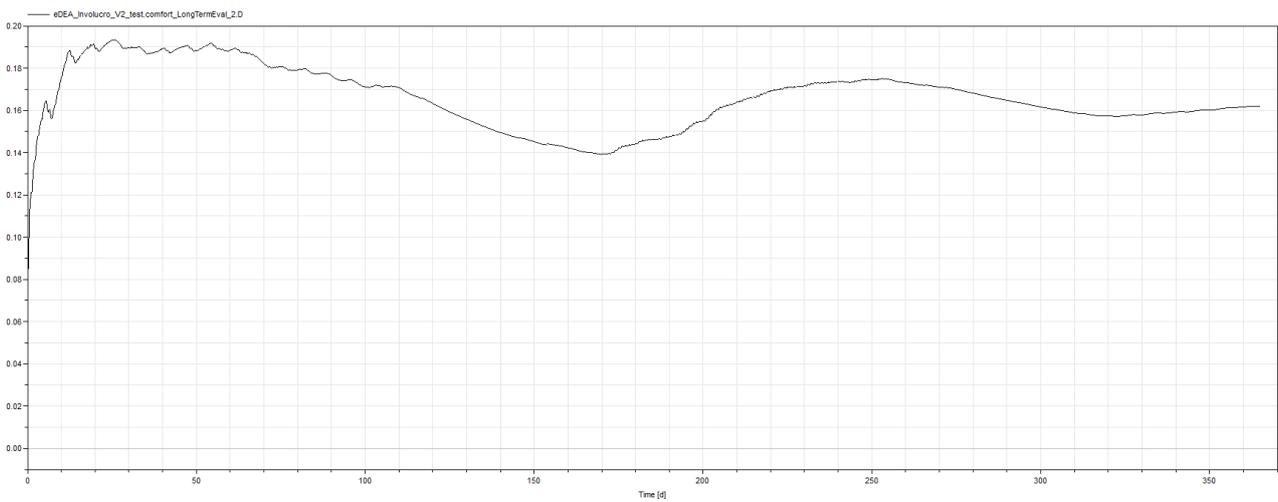


Fig. 94 - Metodo D di zona - Media PPD=11%_Cucina[Kitchen]

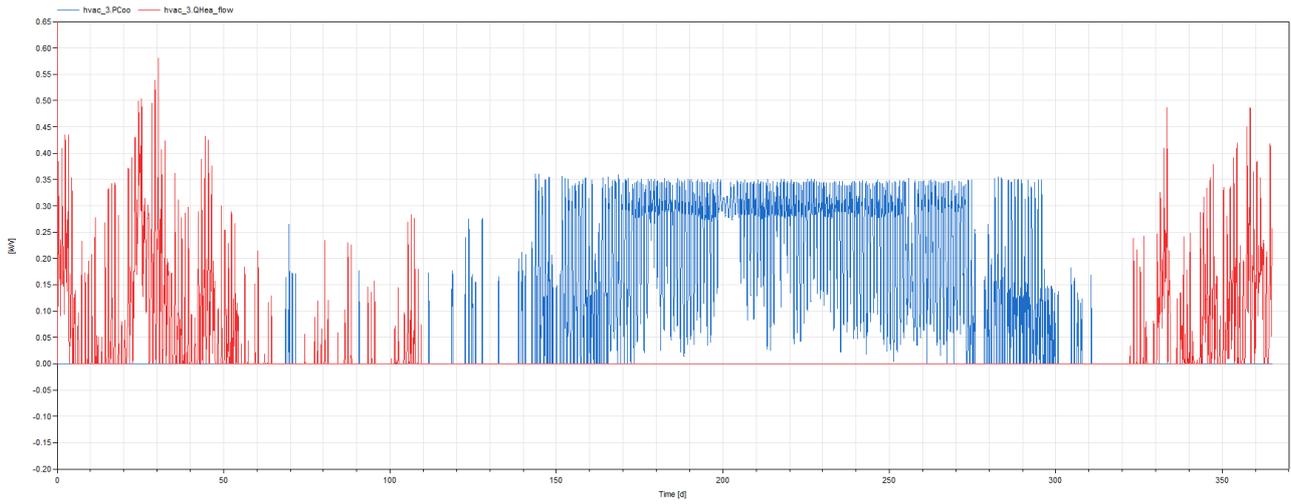


Fig. 95 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Salone comune[LivingRoom]

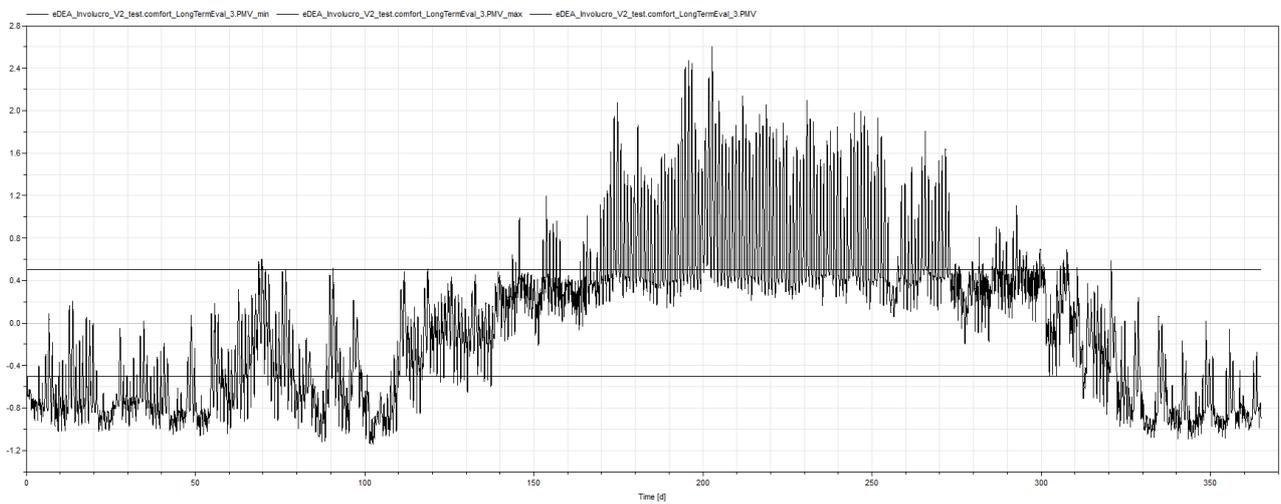


Fig. 96 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Salone_[LivingRoom]

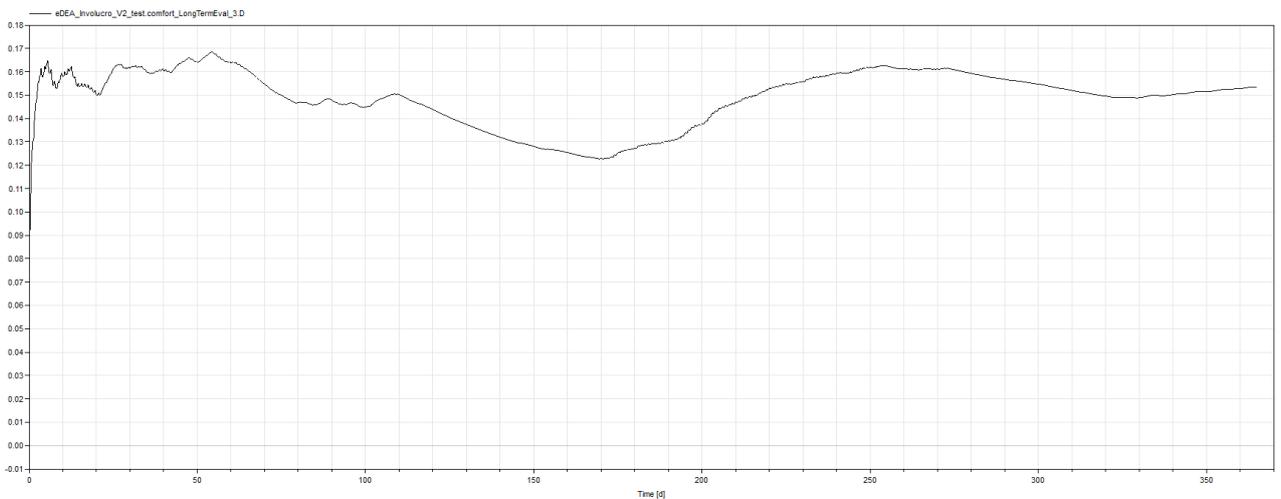


Fig. 97 - Metodo D di zona - Media PPD=10%_Salone[LivingRoom]

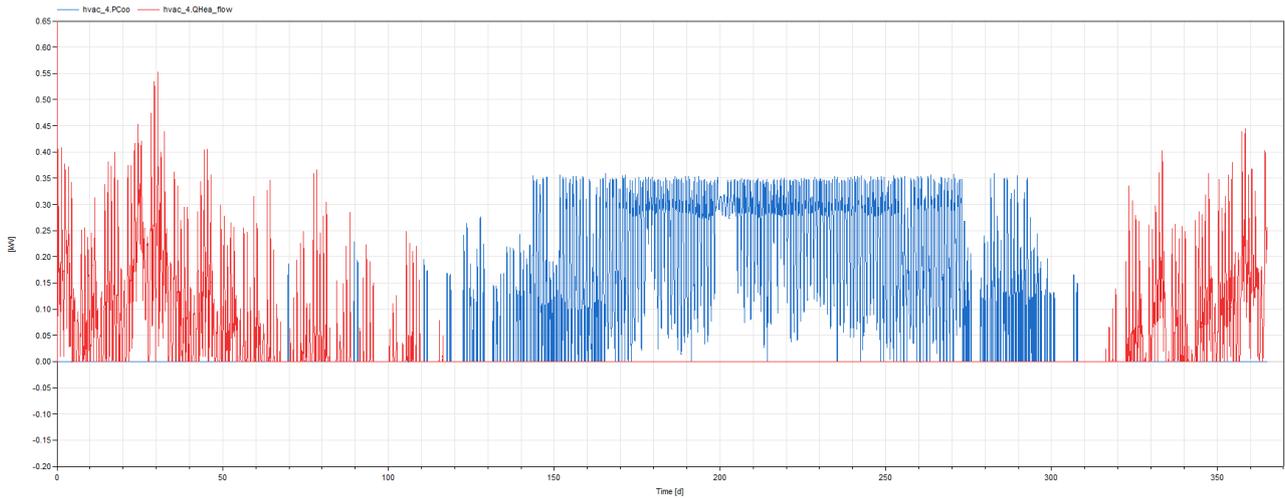


Fig. 98 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera3[Bedroom3]

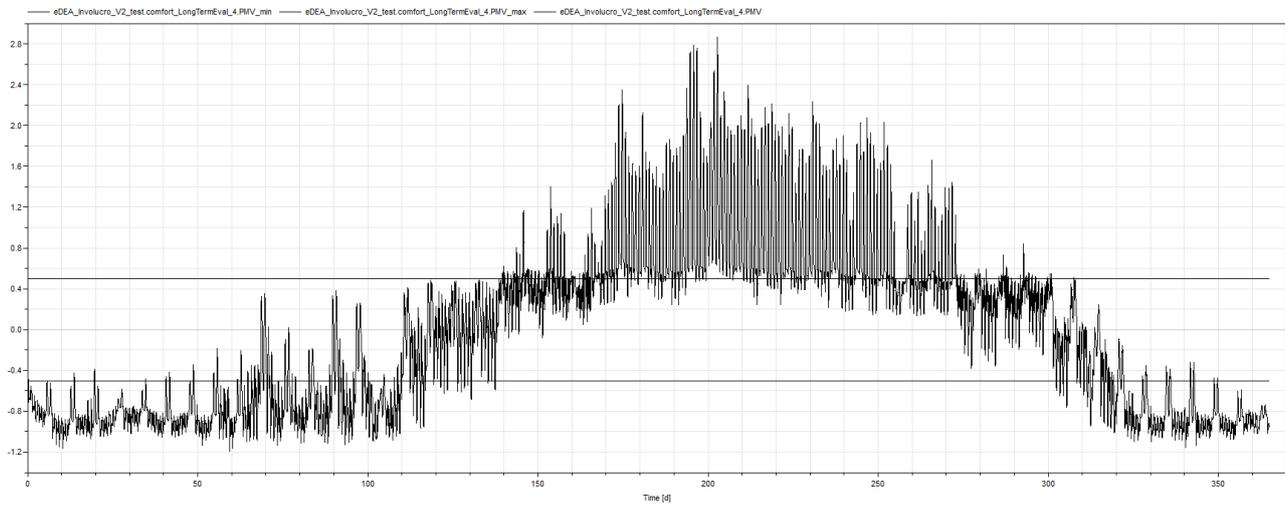


Fig. 99 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera3_[Bedroom3]

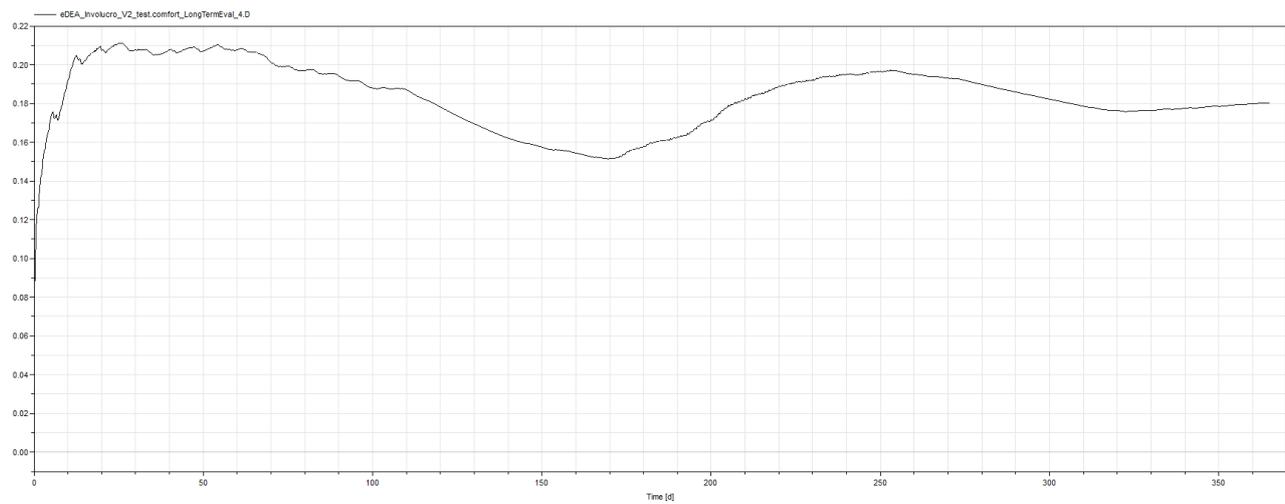


Fig. 100 - Metodo D di zona - Media PPD=13%_Camera3[Bedroom3]

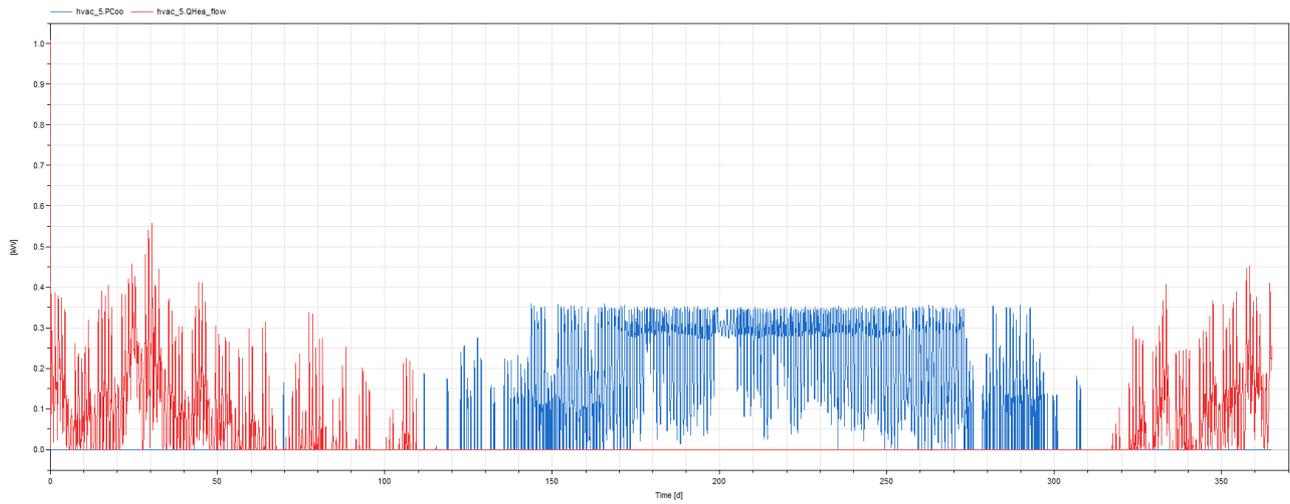


Fig. 101 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera2[Bedroom2]

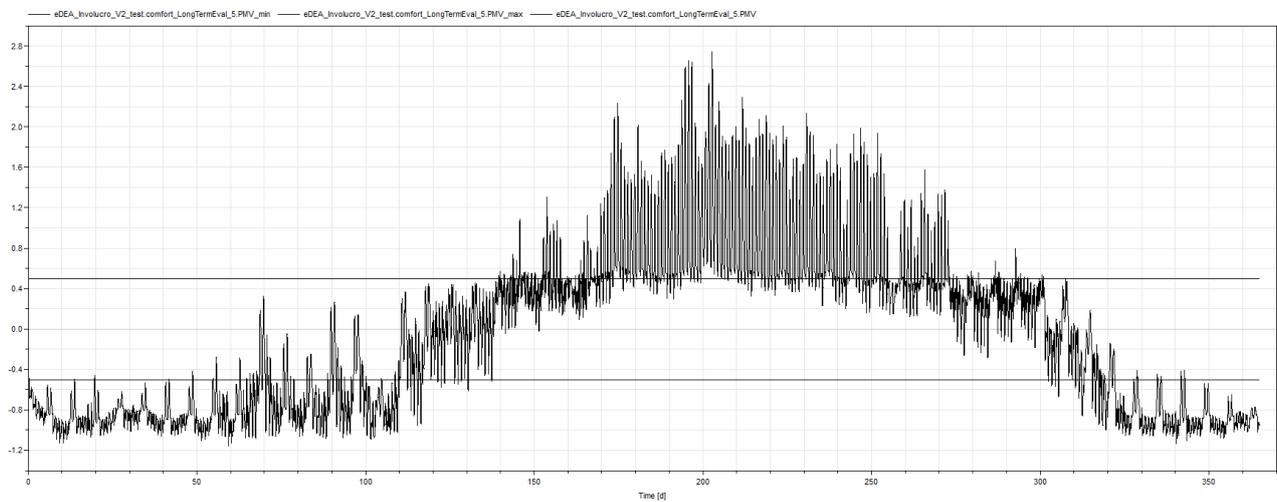


Fig. 102- PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera2_[Bedroom2]

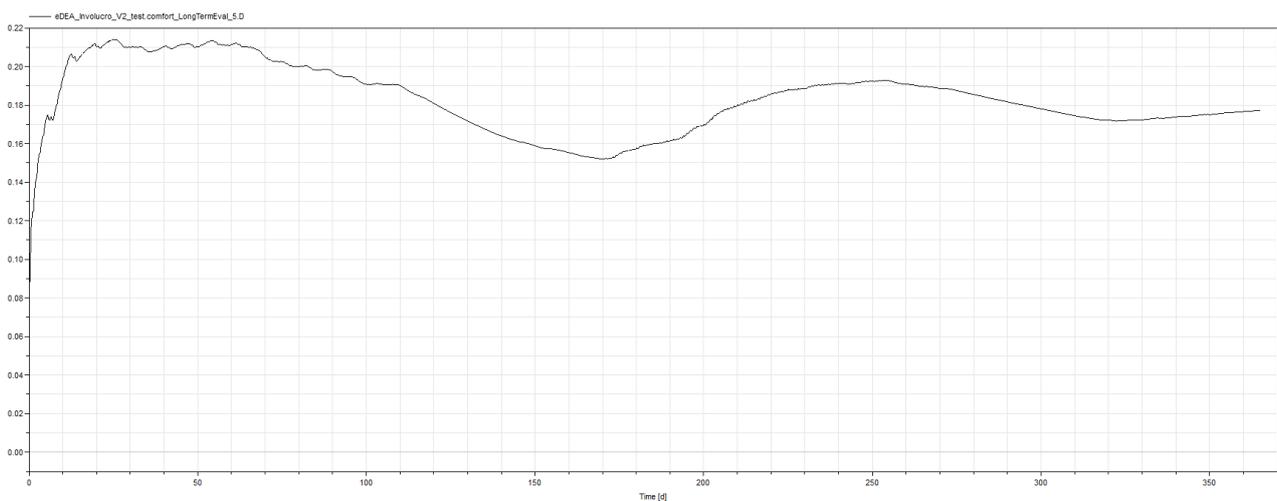


Fig. 103 - Metodo D di zona - Media PPD=13%_Camera2[Bedroom2]

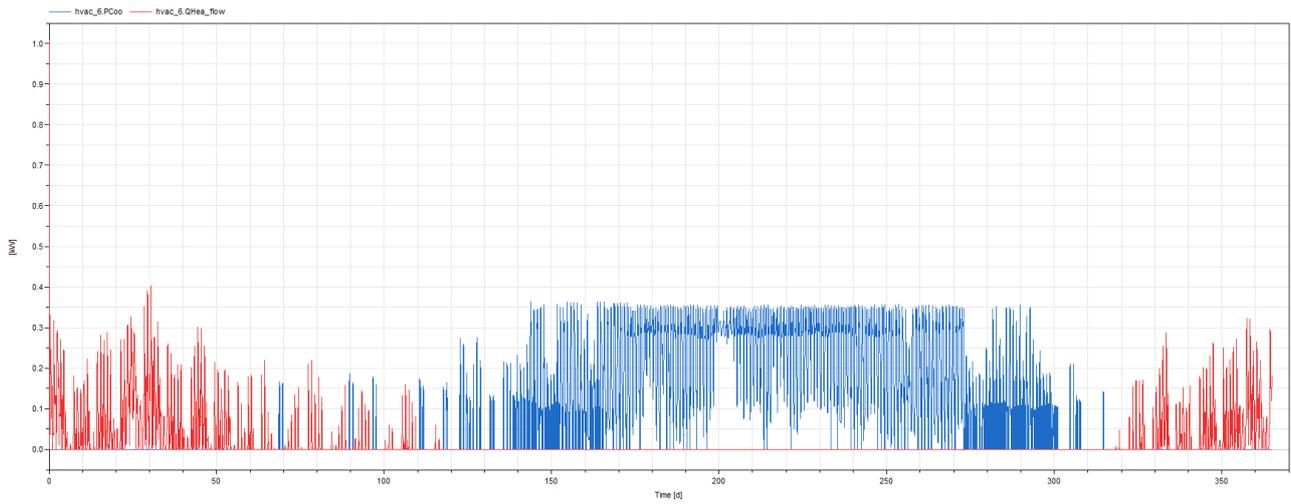


Fig. 104 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona BagnoPP[Bath1]

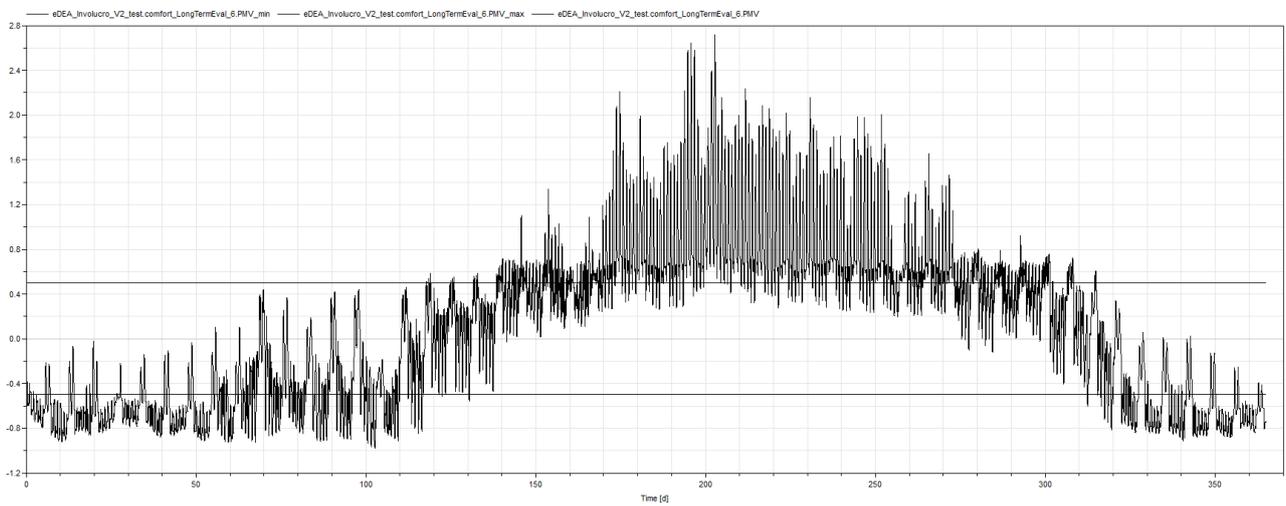


Fig. 105 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona BagnoPP_[Bath1]

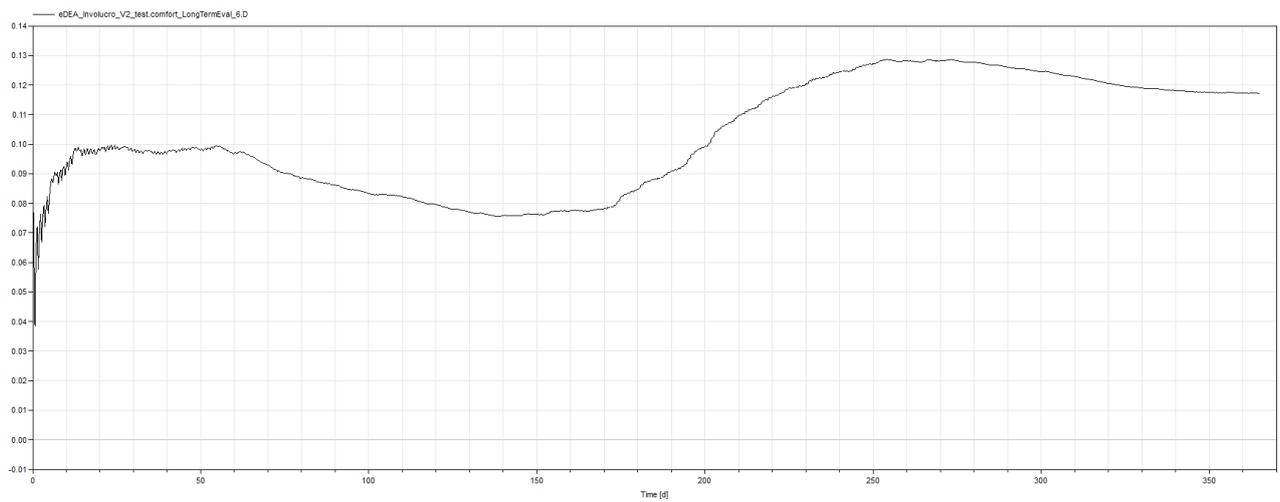


Fig. 106- Metodo D di zona - Media PPD=10%_BagnoPP[Bath1]

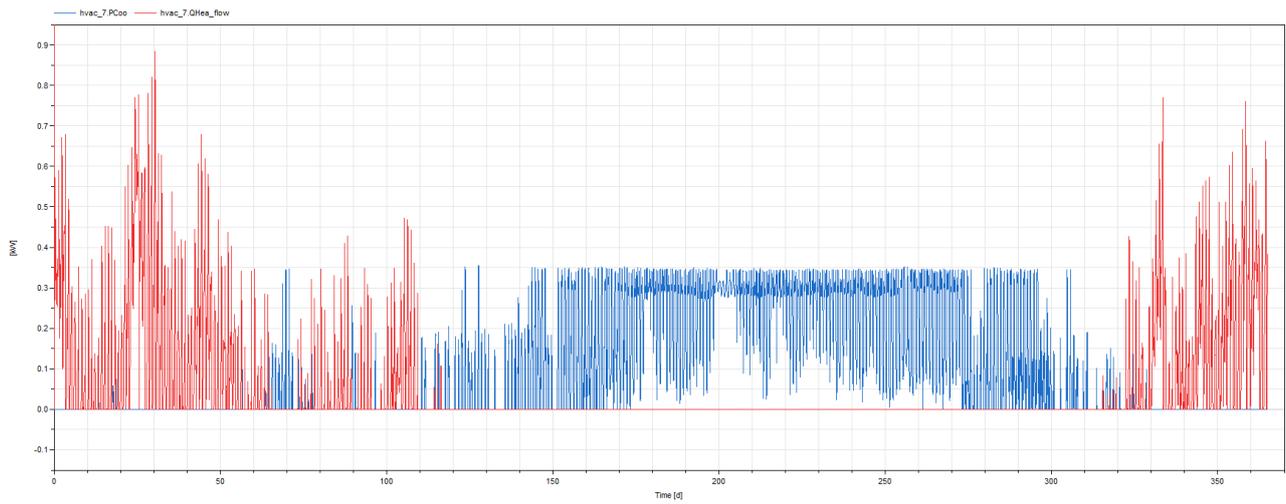


Fig. 107- Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera1[Bedroom1]

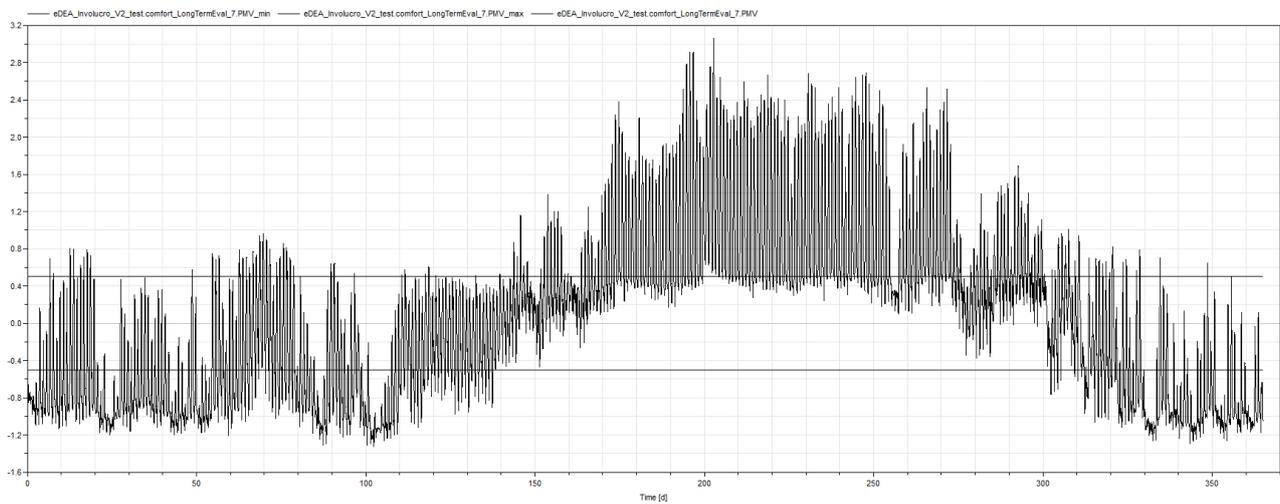


Fig. 108- PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera1_[Bedroom1]

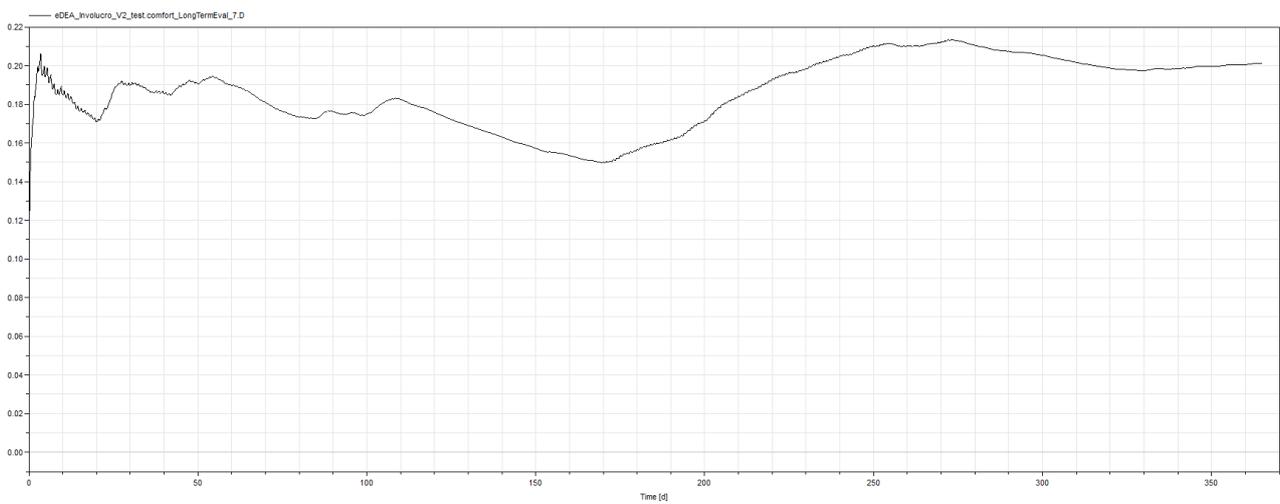


Fig. 109- Metodo D di zona - Media PPD=13%_Camera1[Bedroom1]

6.2.c Risultati simulazione CASO C

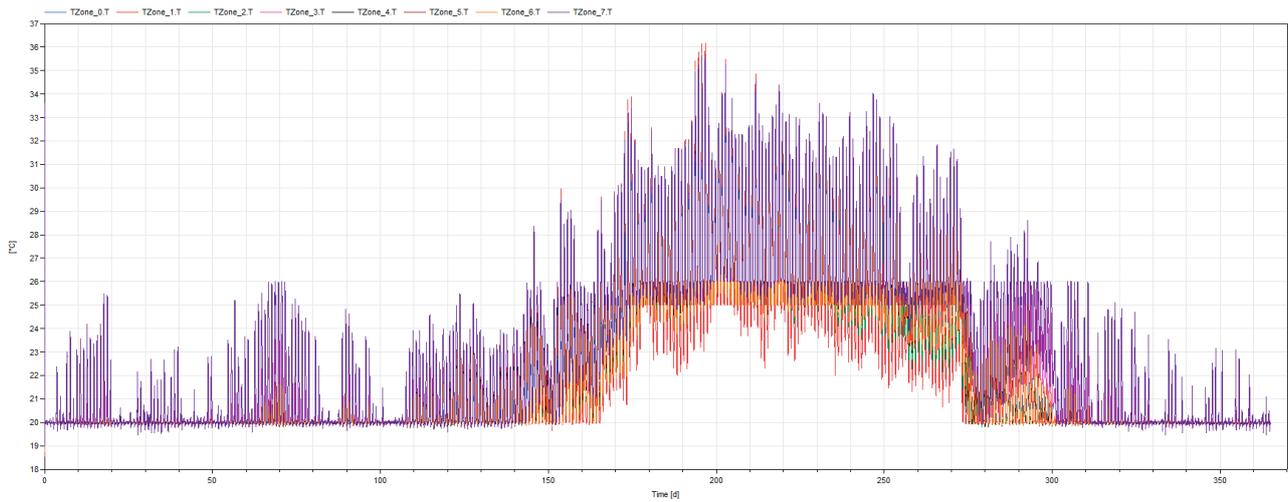


Fig. 110 - Temperature di zona [Caso C]

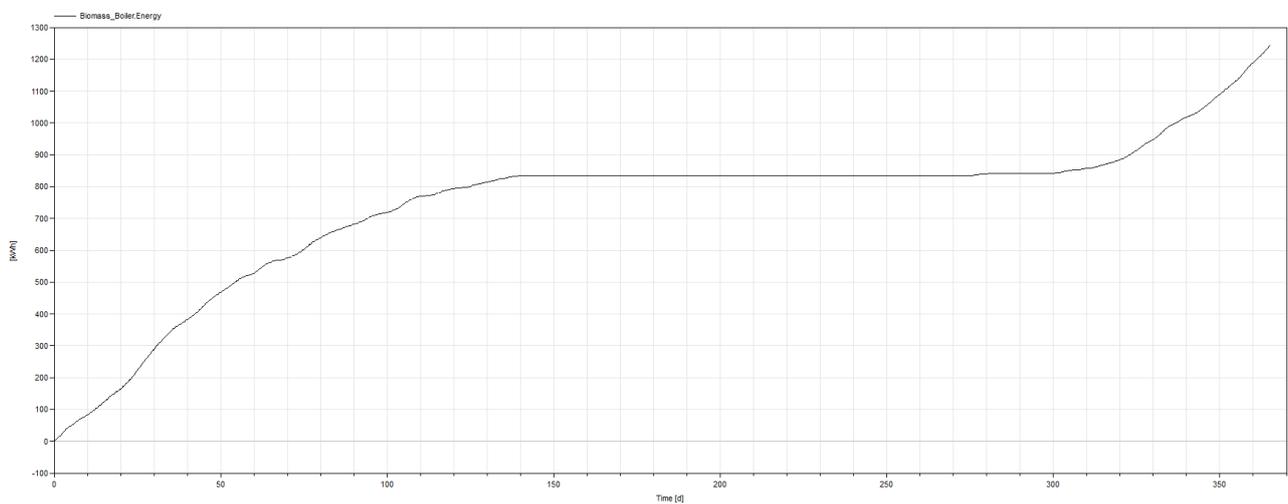


Fig. 111 - Energia consumata dal Boiler_1244 kWh_[Caso C]

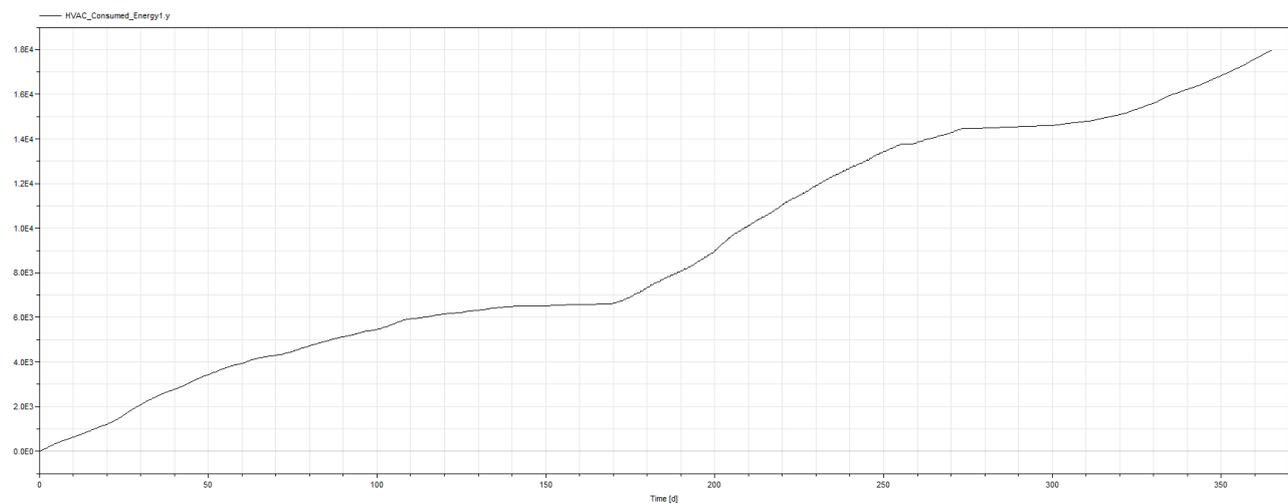


Fig. 112 - Energia consumata dall' HVAC_18090 kWh_[Caso C]

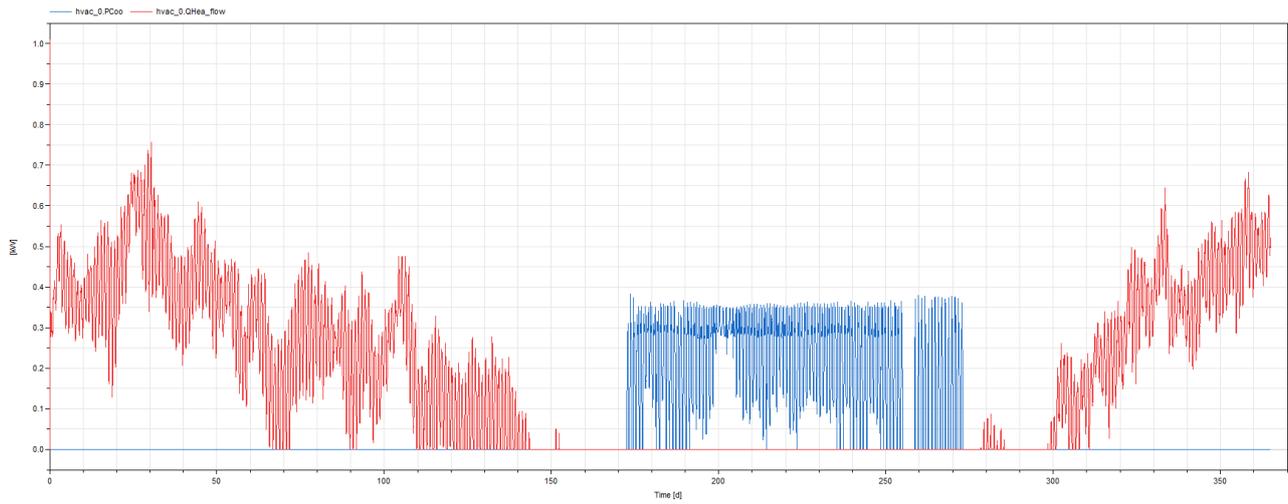


Fig. 113 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona atrio e scale[Stairwell]

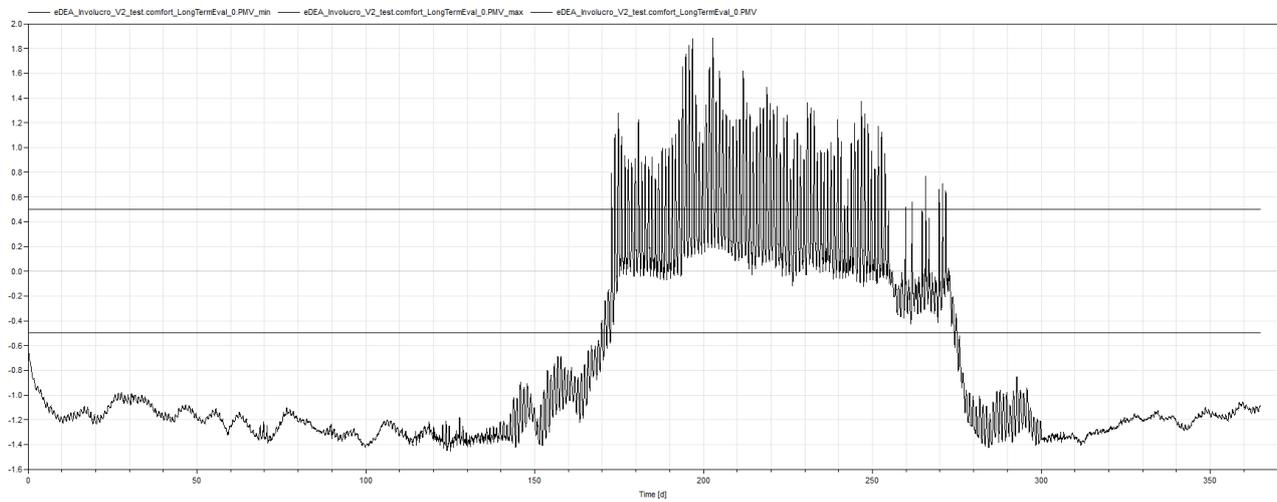


Fig. 114 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Atrio_[Stairwell]

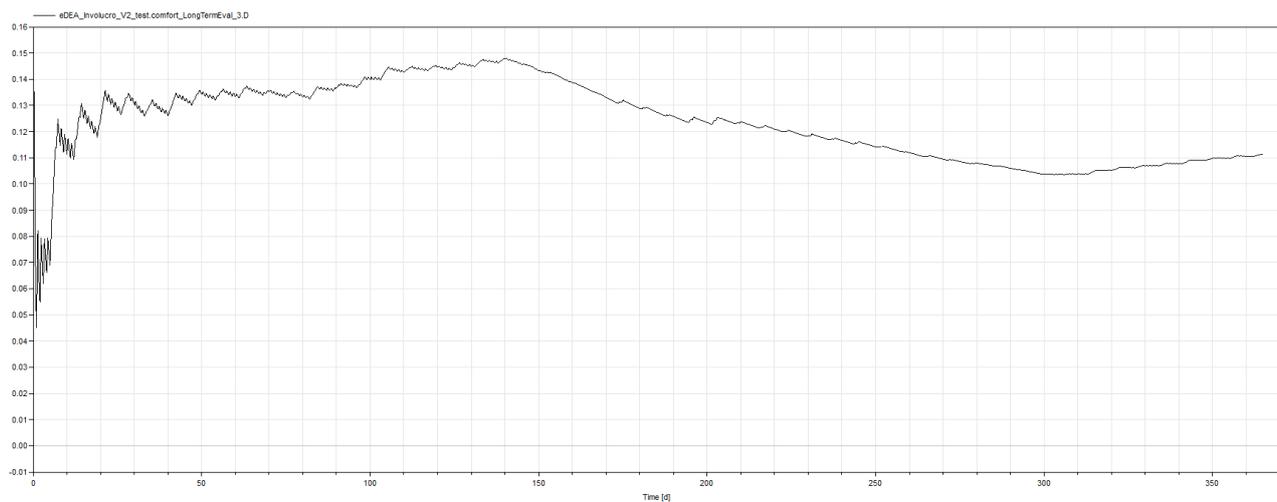


Fig. 115 - Metodo D di zona - Media PPD=20%_Zona Atrio[Stairwell]

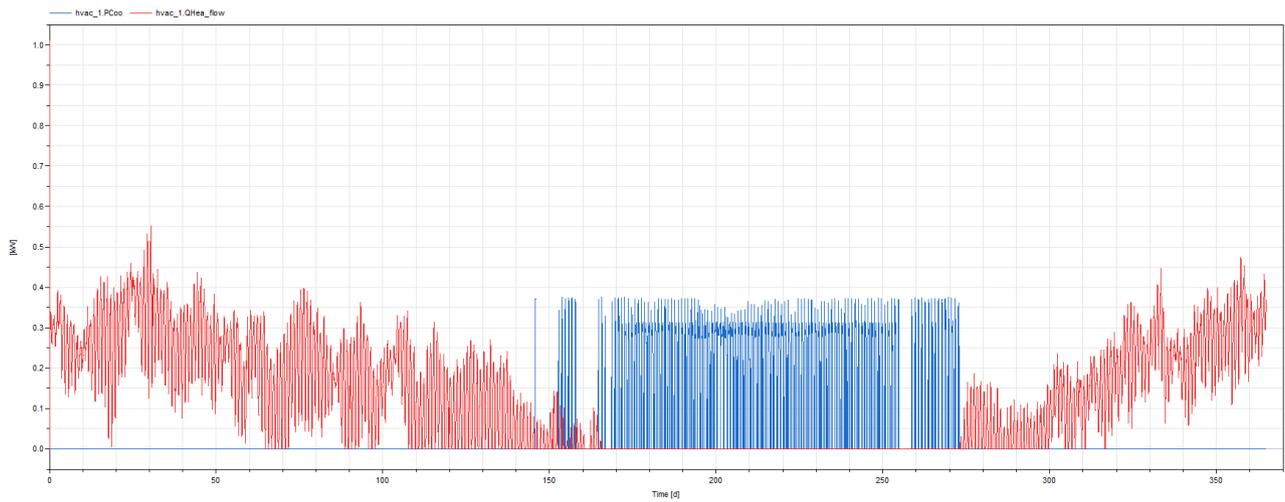


Fig. 116 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Bagno PT[Bath]

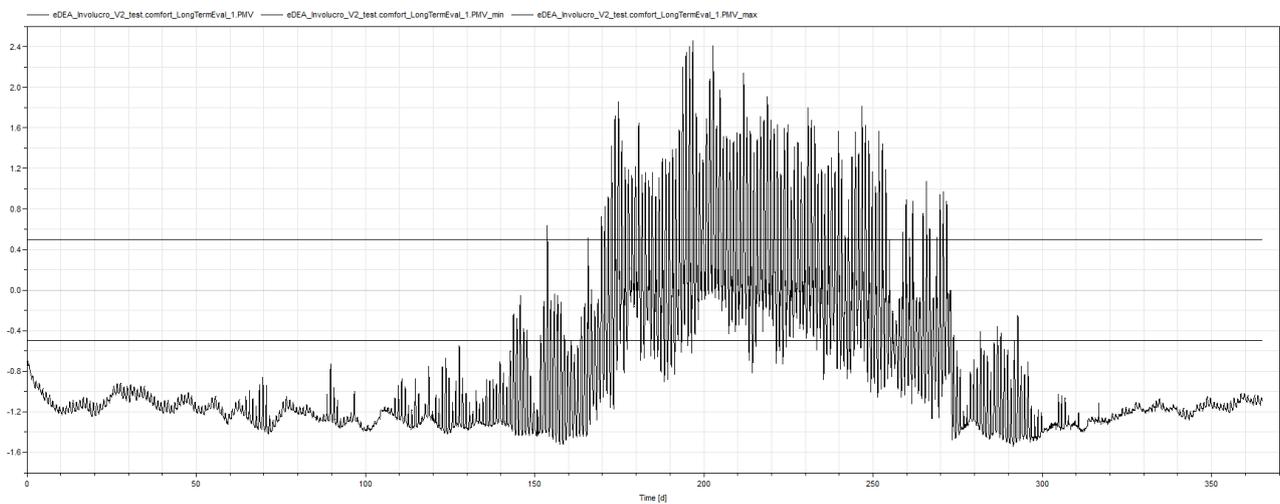


Fig. 117 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona BagnoPP_[Bath]

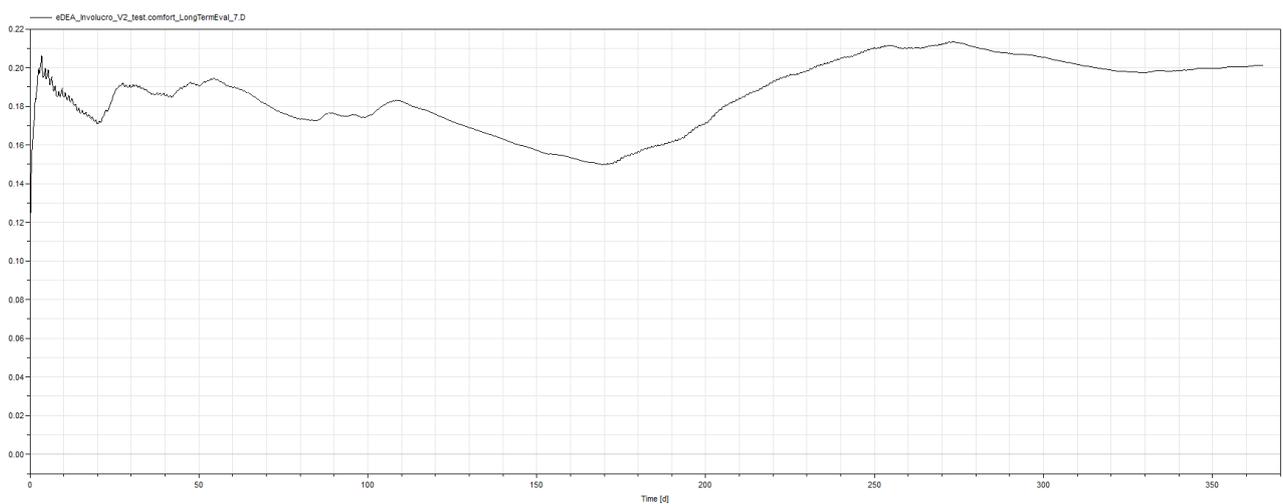


Fig. 118- Metodo D di zona - Media PPD=21%_BagnoPT[Bath]

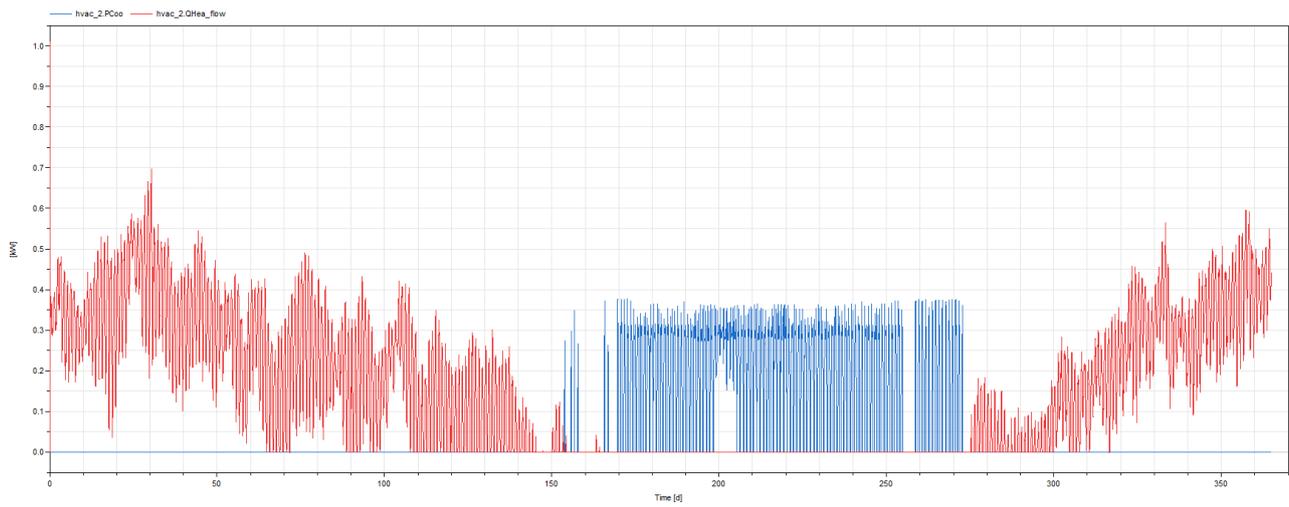


Fig. 119 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Cucina PT[Kitchen]

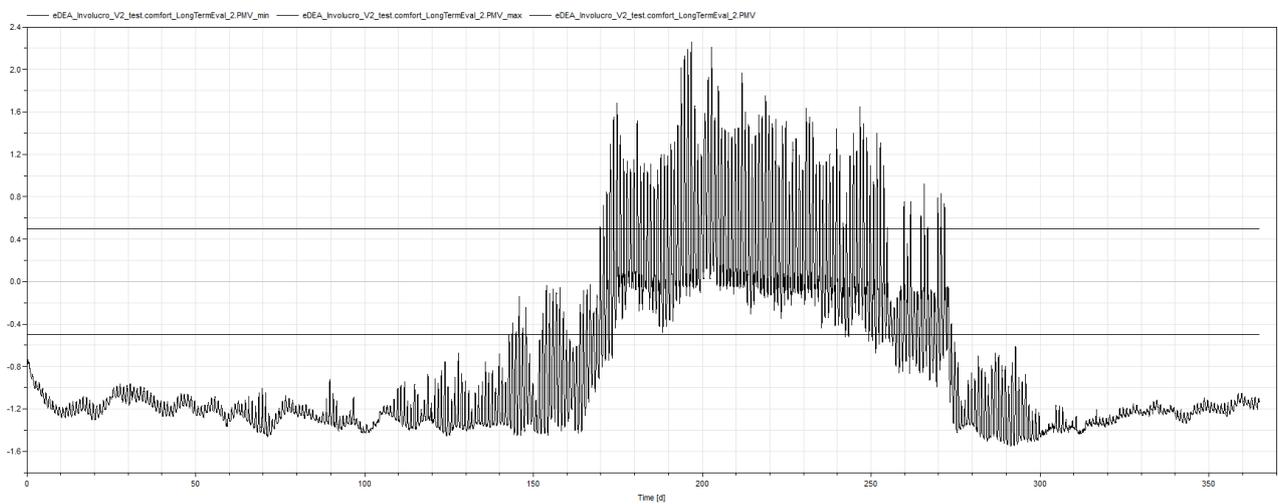


Fig. 120 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Cucina_[Kitchen]

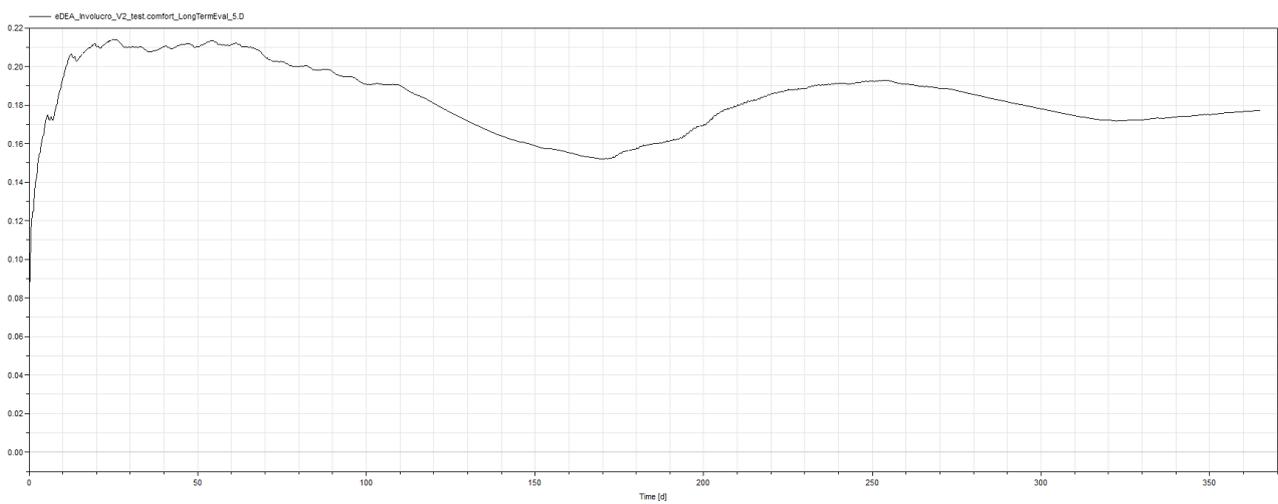


Fig. 121 - Metodo D di zona - Media PPD=21%_Cucina[Kitchen]

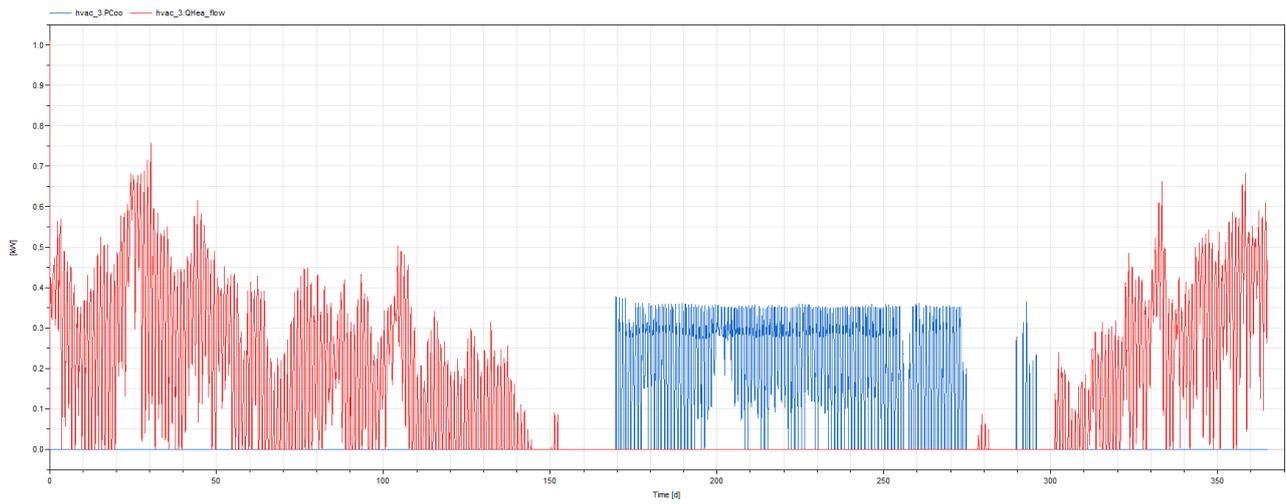


Fig. 122 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Salone comune[LivingRoom]

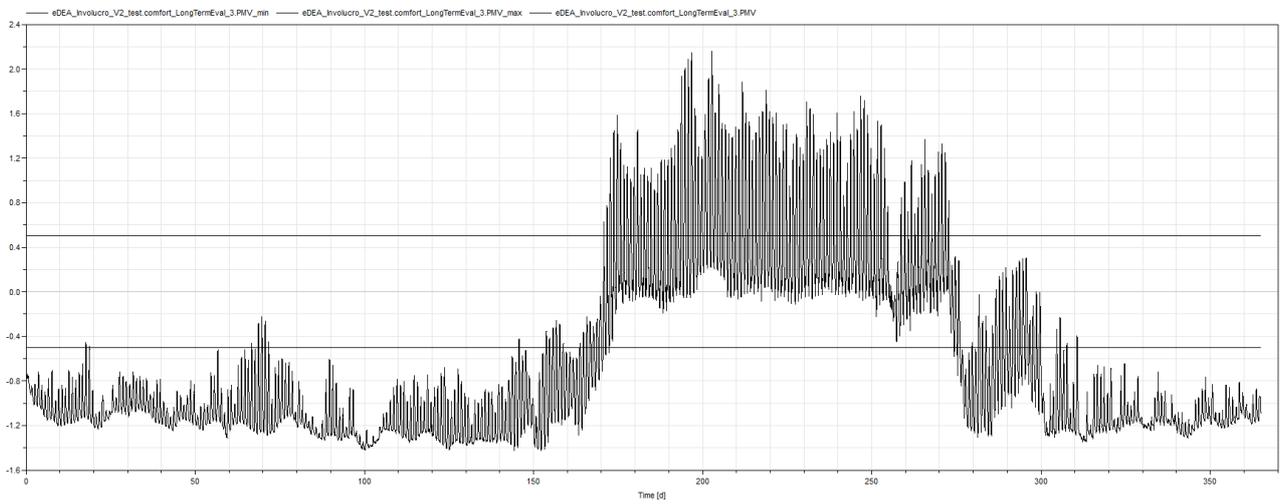


Fig. 123 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Salone_[LivingRoom]

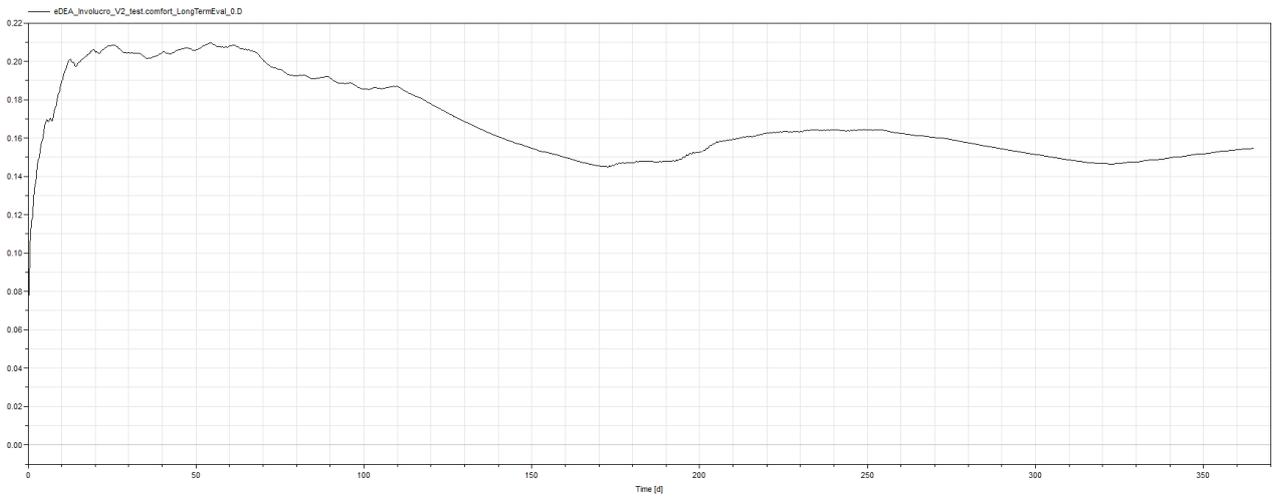


Fig. 124 - Metodo D di zona - Media PPD=19%_Salone[LivingRoom]

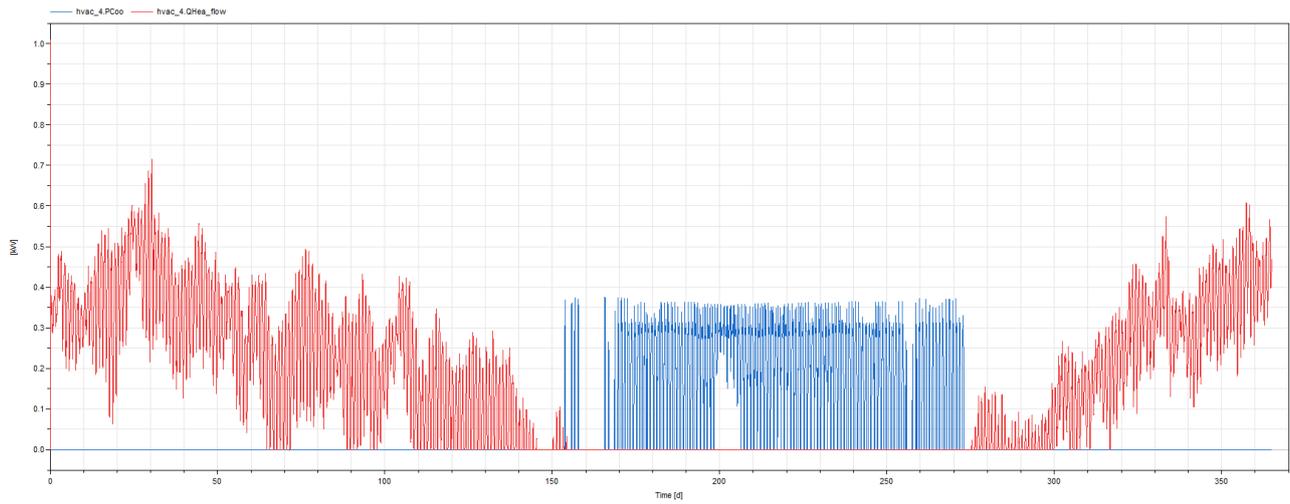


Fig. 125 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera3[Bedroom3]

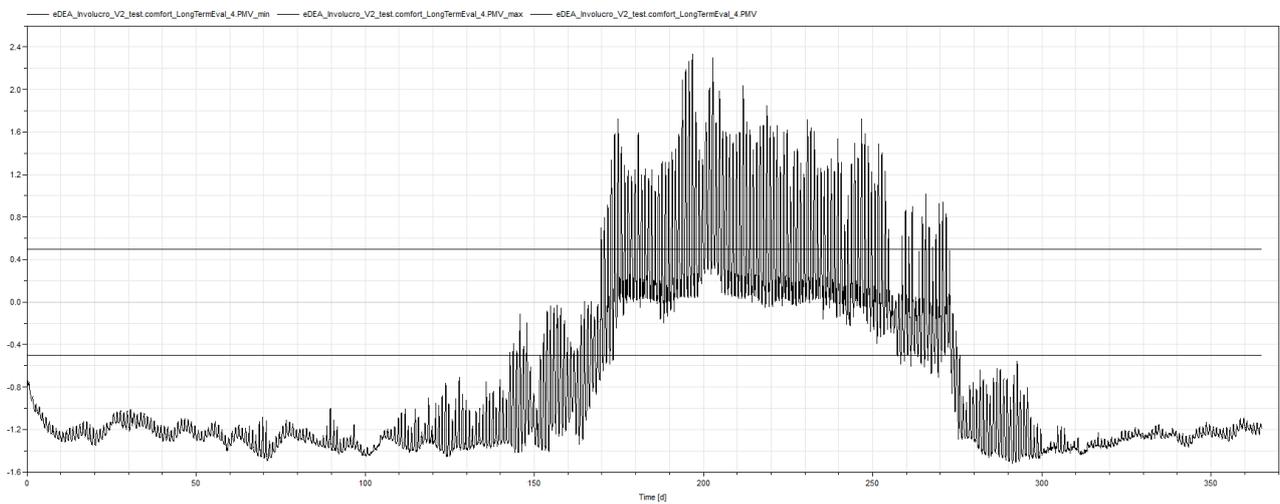


Fig. 126 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera3_[Bedroom3]

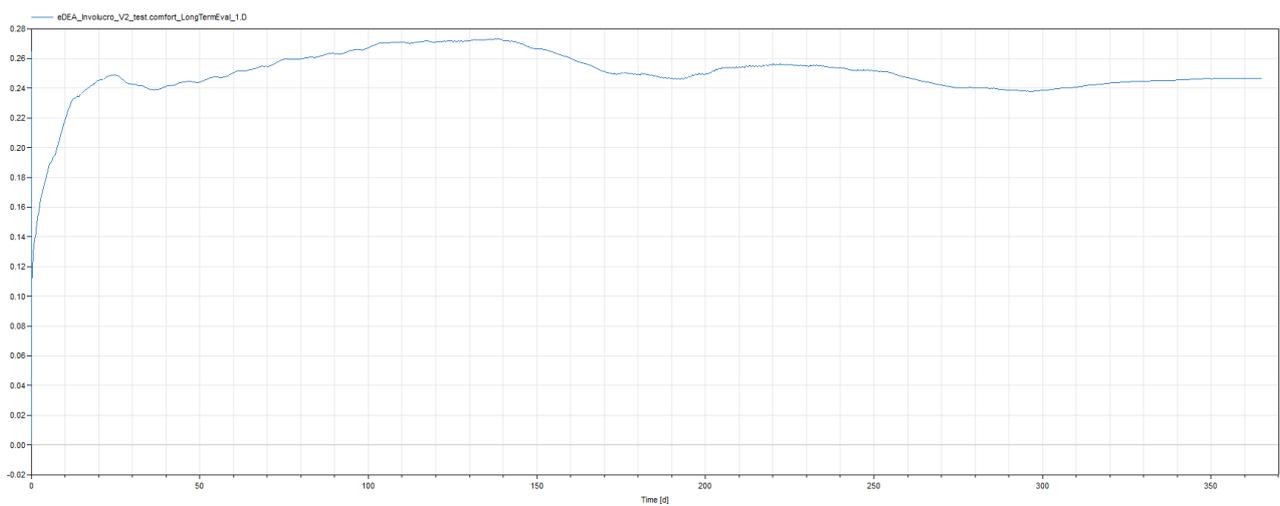


Fig. 127 - Metodo D di zona - Media PPD=22%_Camera3[Bedroom3]

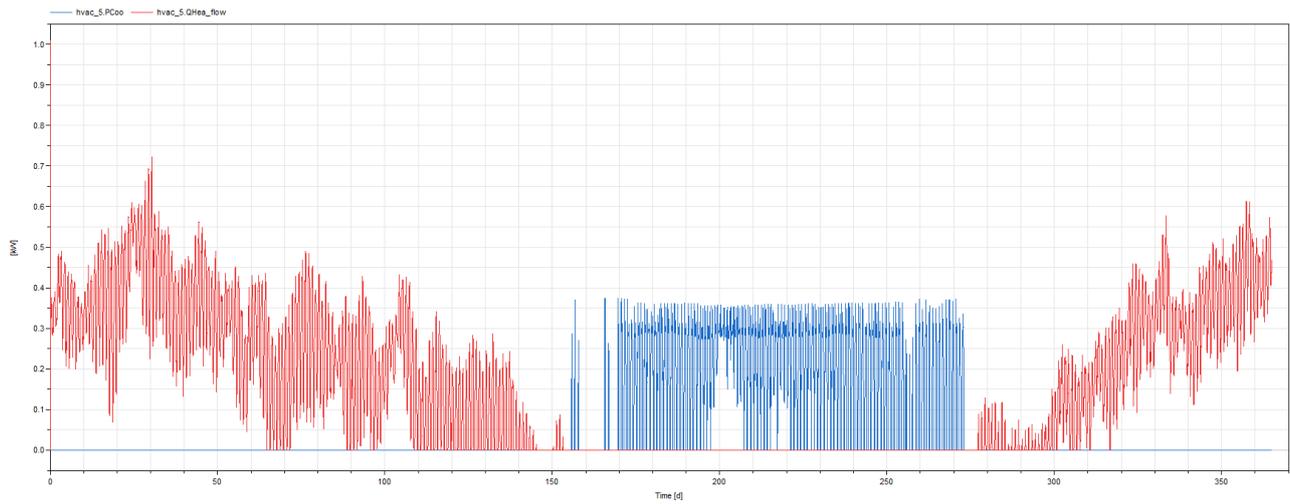


Fig. 128- Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera2[Bedroom2]

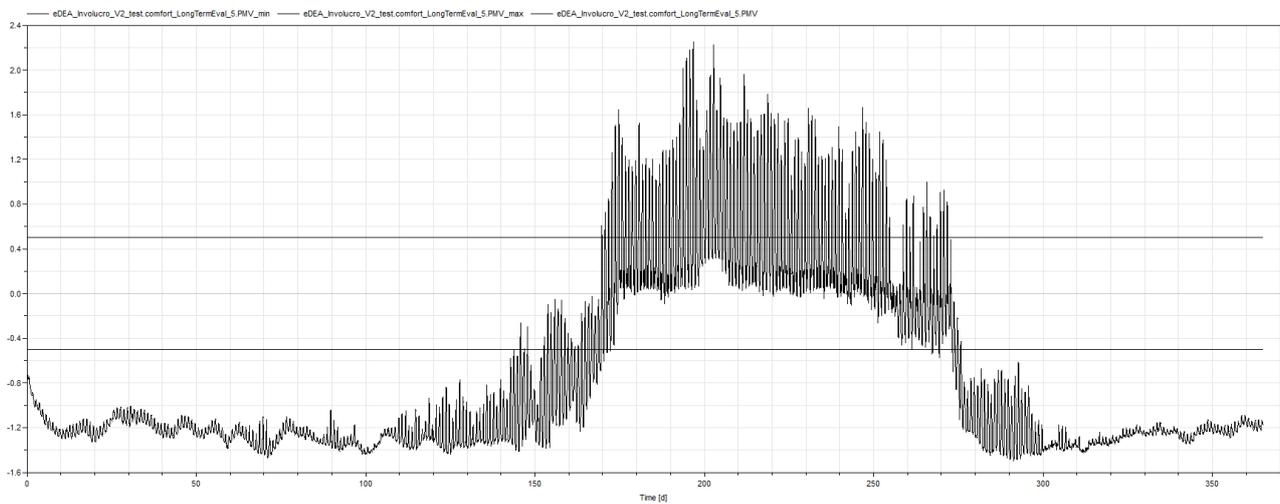


Fig. 129- PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera2_[Bedroom2]

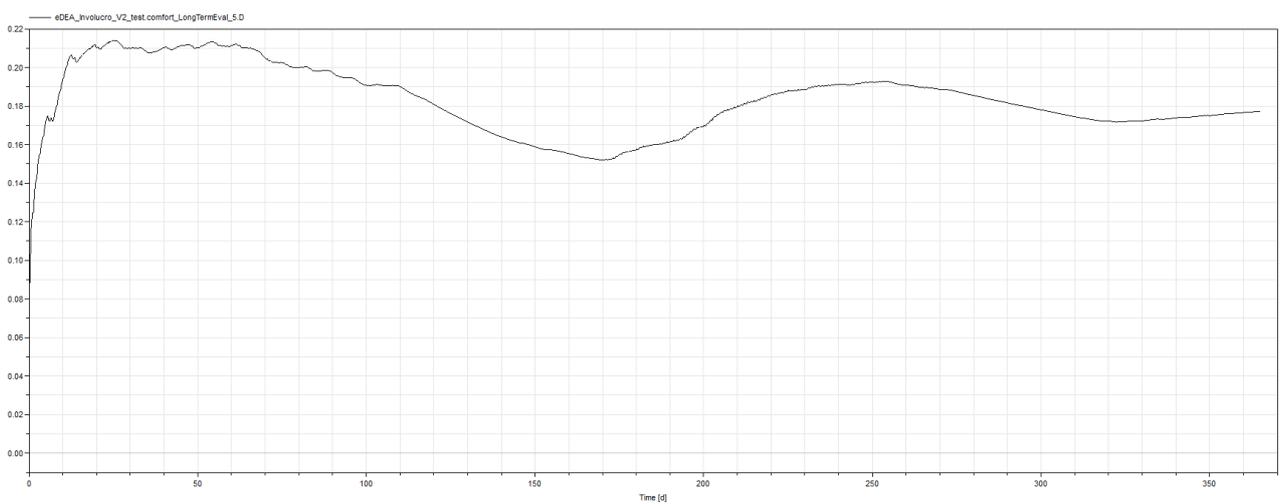


Fig. 130 - Metodo D di zona - Media PPD=22%_Camera2[Bedroom2]

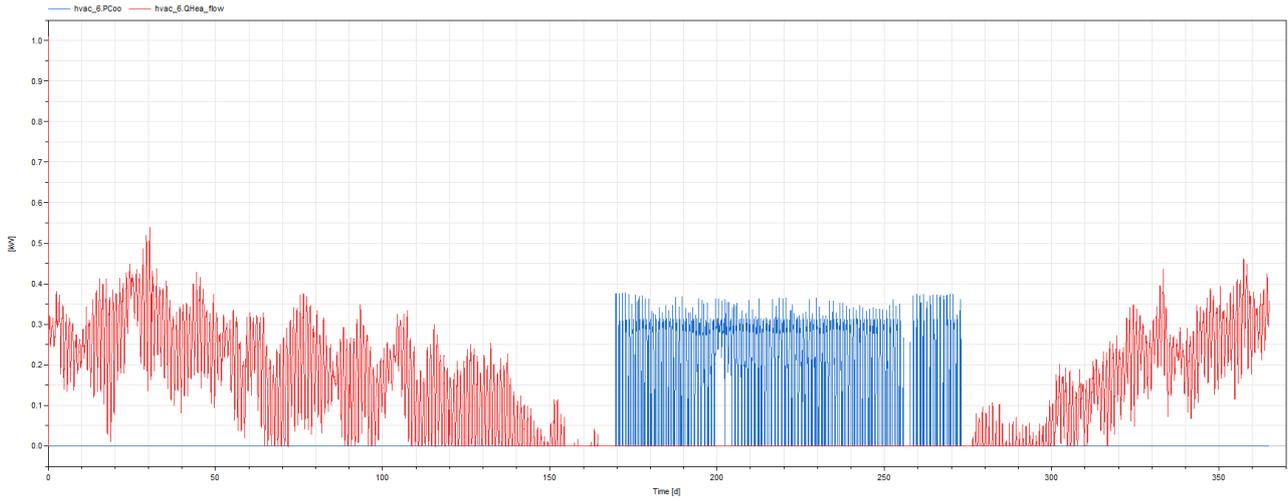


Fig. 131 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona BagnoPP[Bath1]

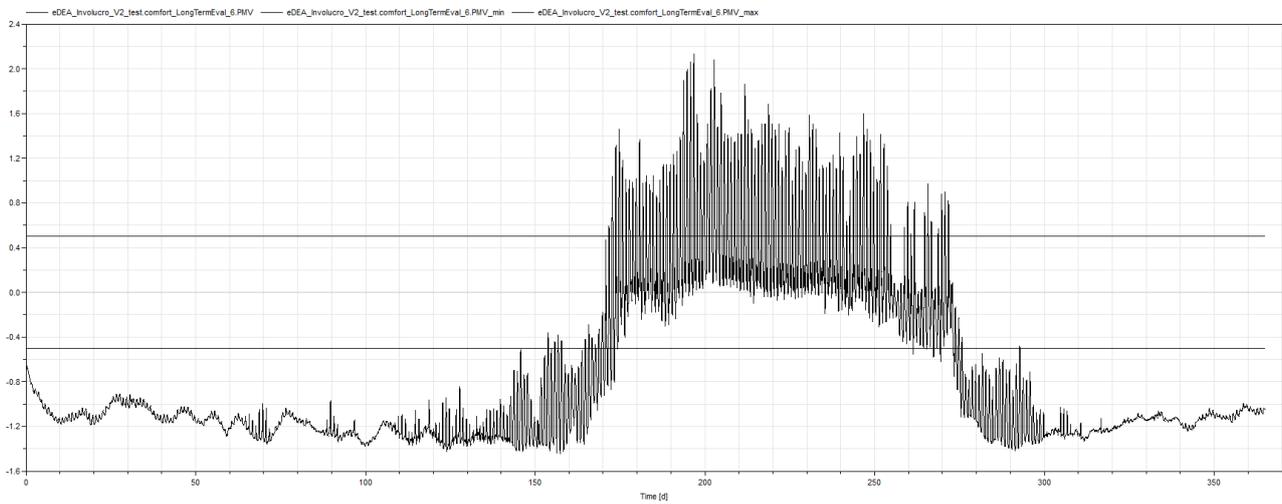


Fig. 132 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona BagnoPP_[Bath1]

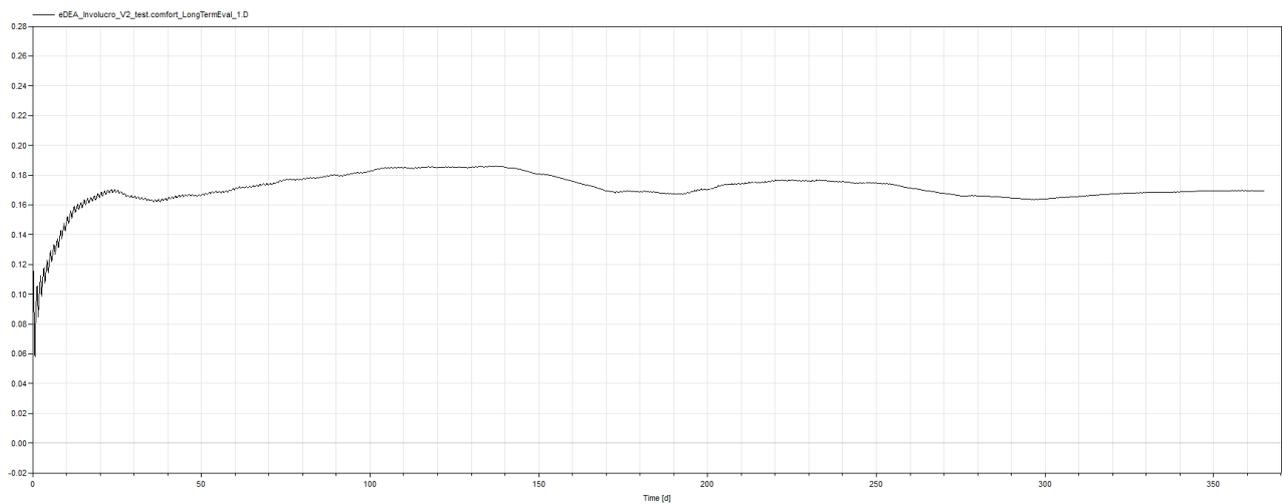


Fig. 133 - Metodo D di zona - Media PPD=20%_BagnoPP[Bath1]

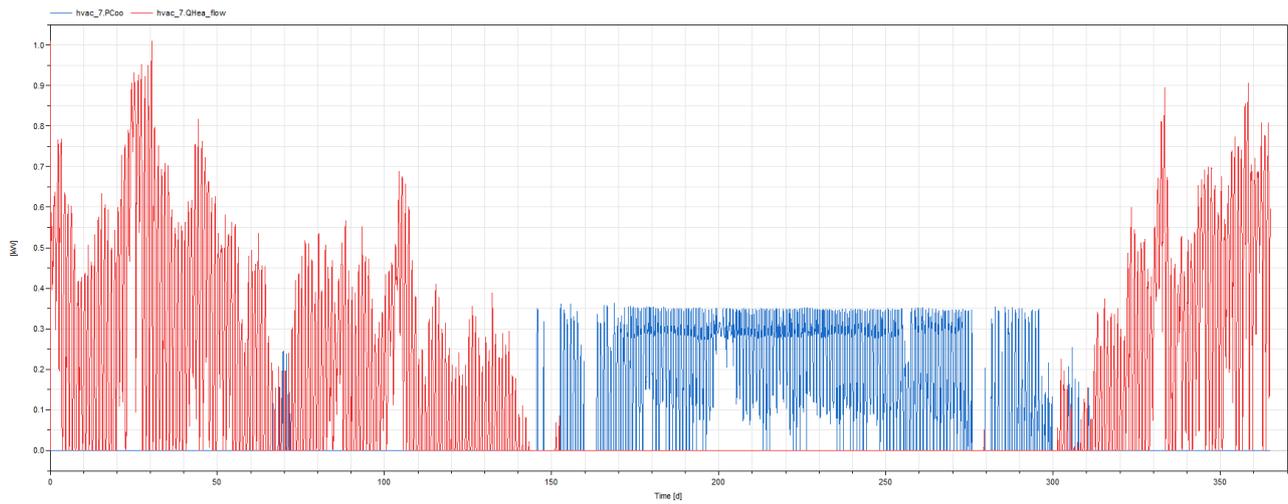


Fig. 134- Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera1[Bedroom1]

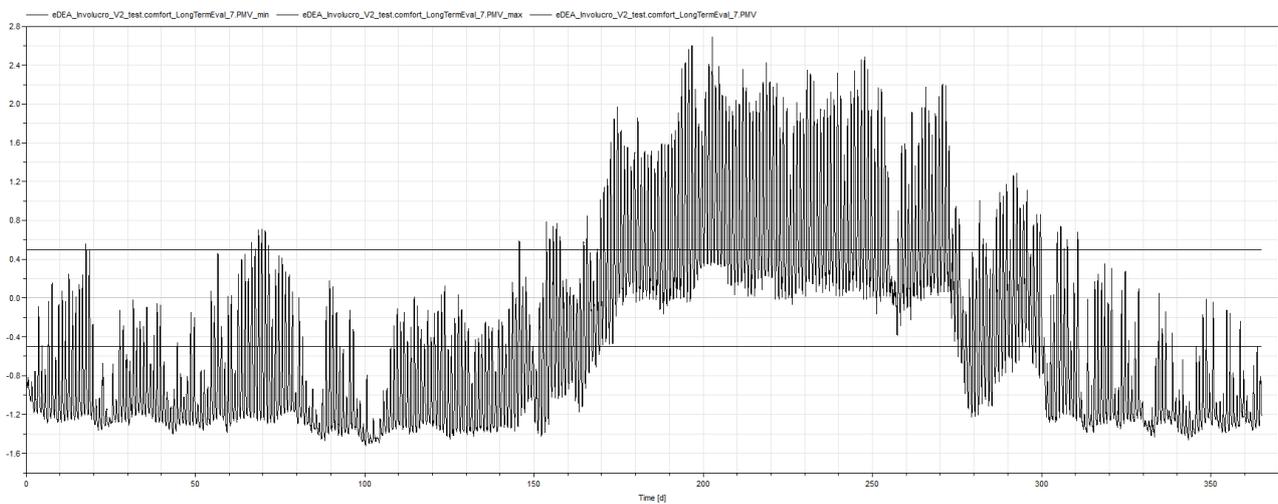


Fig. 135- PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera1_[Bedroom1]

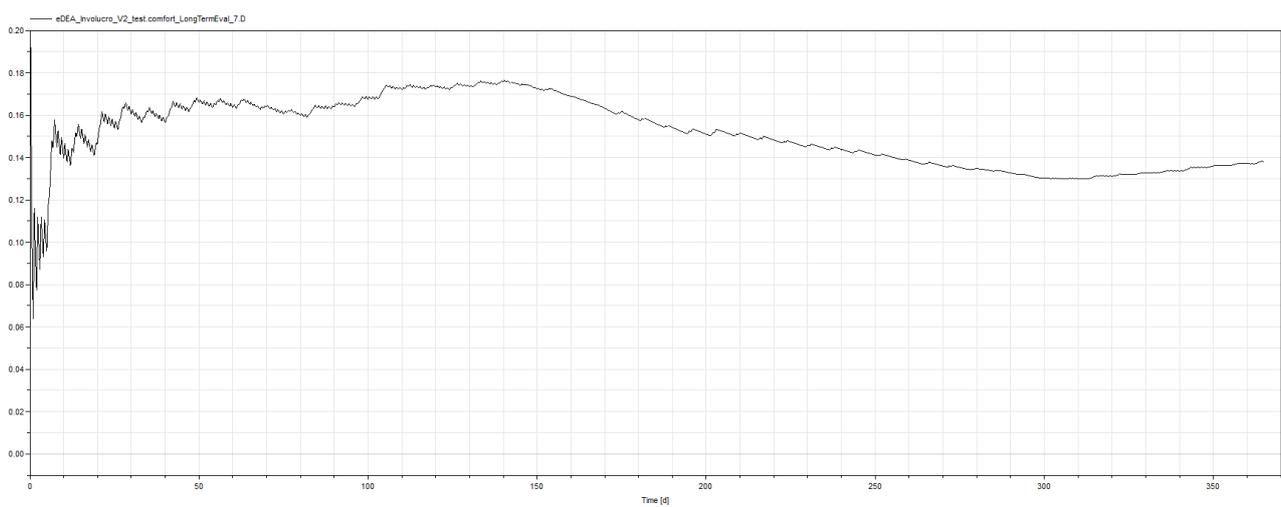


Fig. 136- Metodo D di zona - Media PPD=19%_Camera1[Bedroom1]

6.2.d Risultati simulazione CASO D

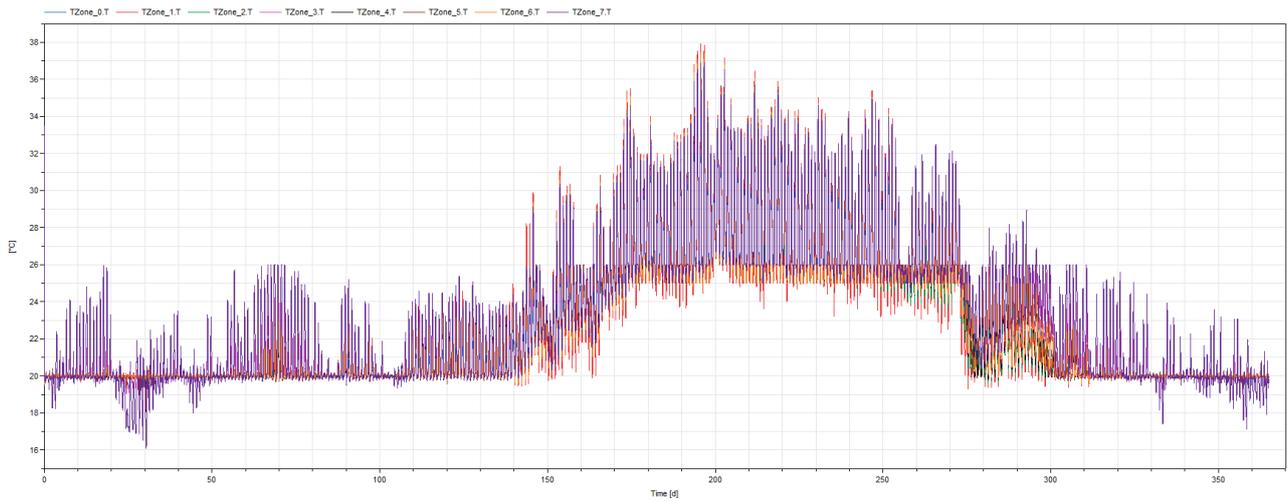


Fig. 137 - Temperature di zona [Caso D]

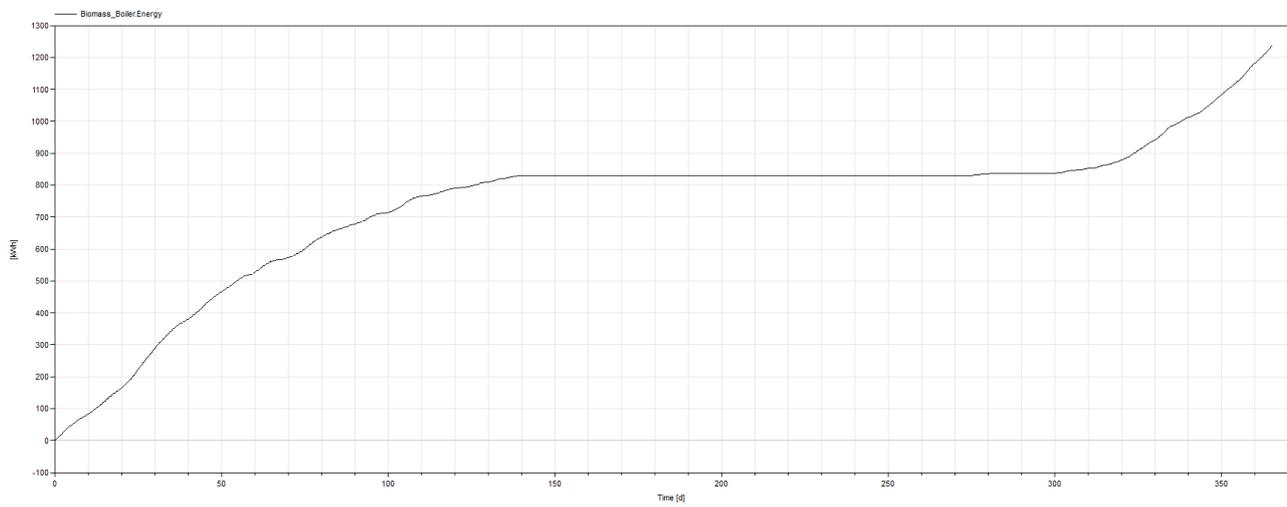


Fig. 138 - Energia consumata dal Boiler_1240 kWh_[Caso D]

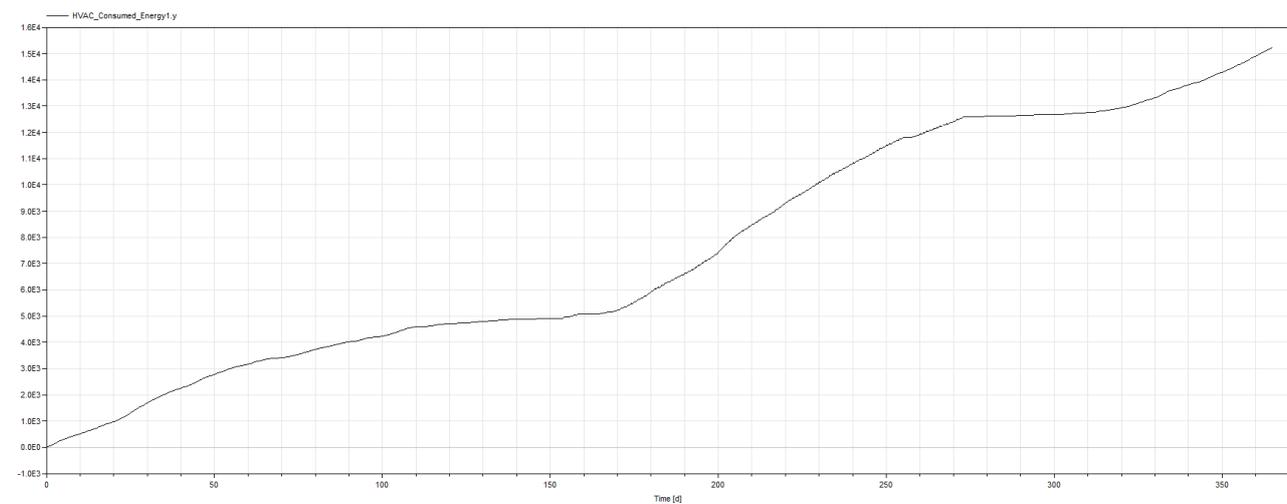


Fig. 139 - Energia consumata dall' HVAC_16234 kWh_[Caso D]

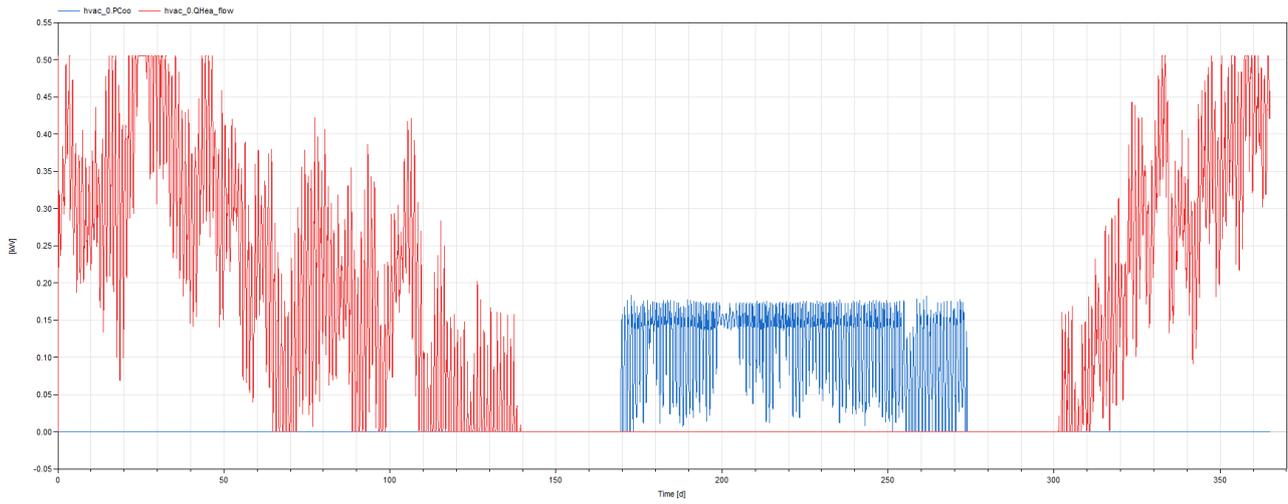


Fig. 140 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona atrio e scale[Stairwell]

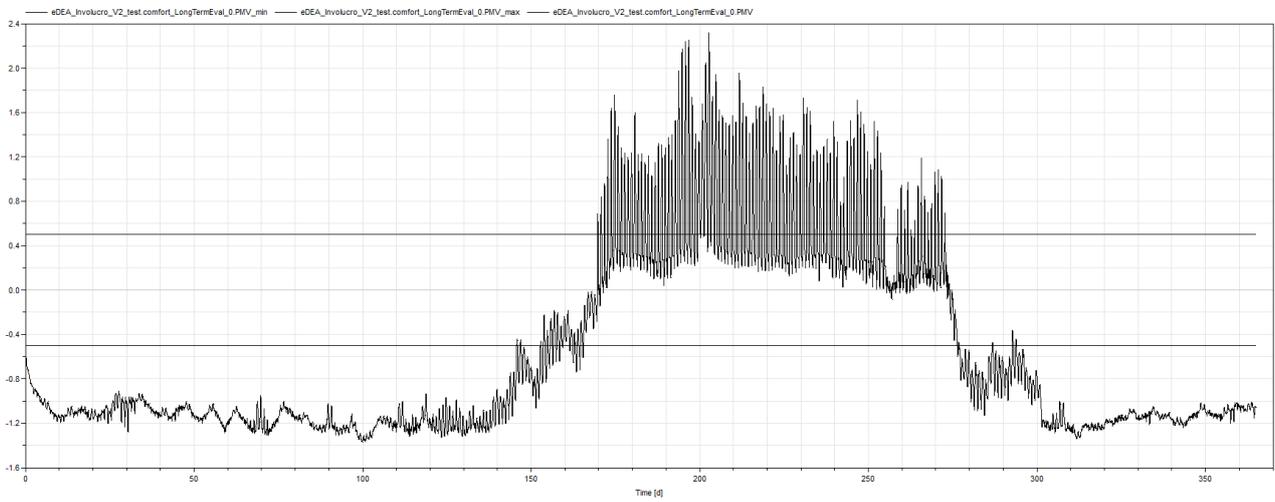


Fig. 141 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Atrio_[Stairwell]

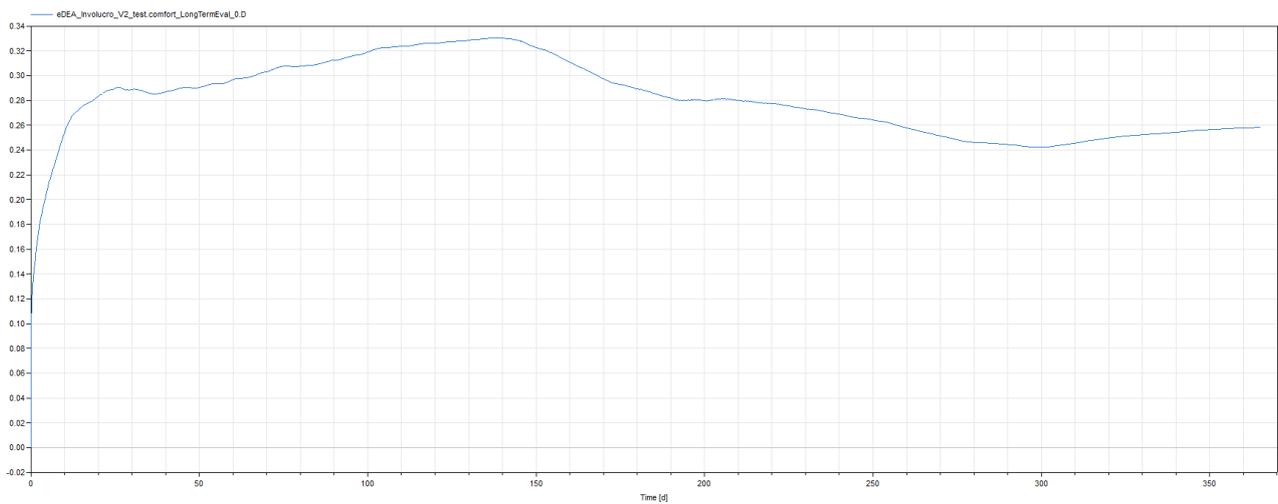


Fig. 142 - Metodo D di zona - Media PPD=19%_Zona Atrio[Stairwell]

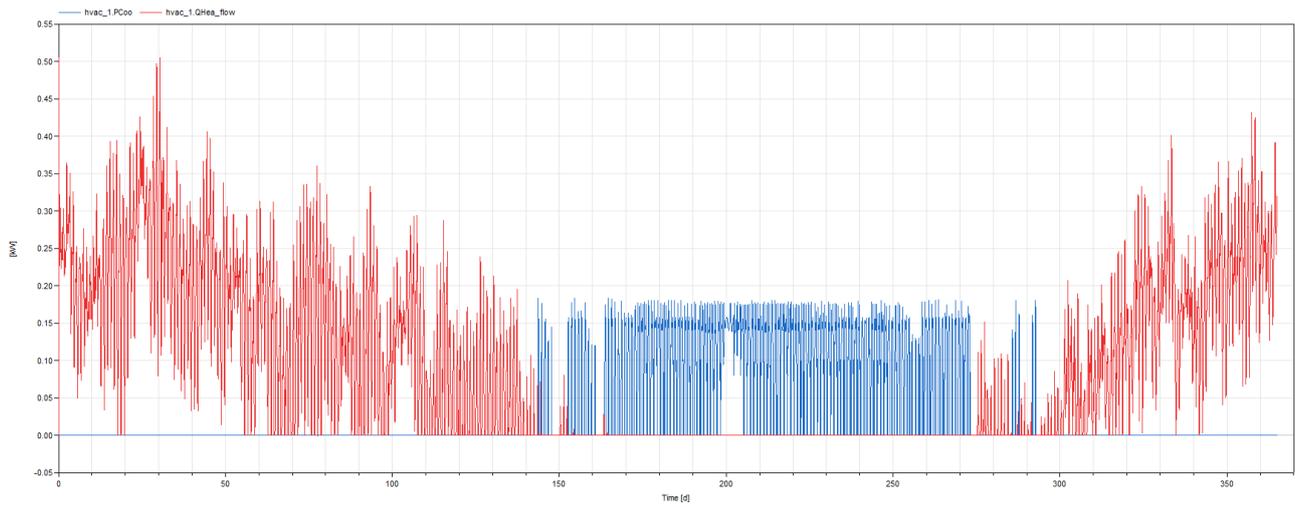


Fig. 143 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Bagno PT[Bath]

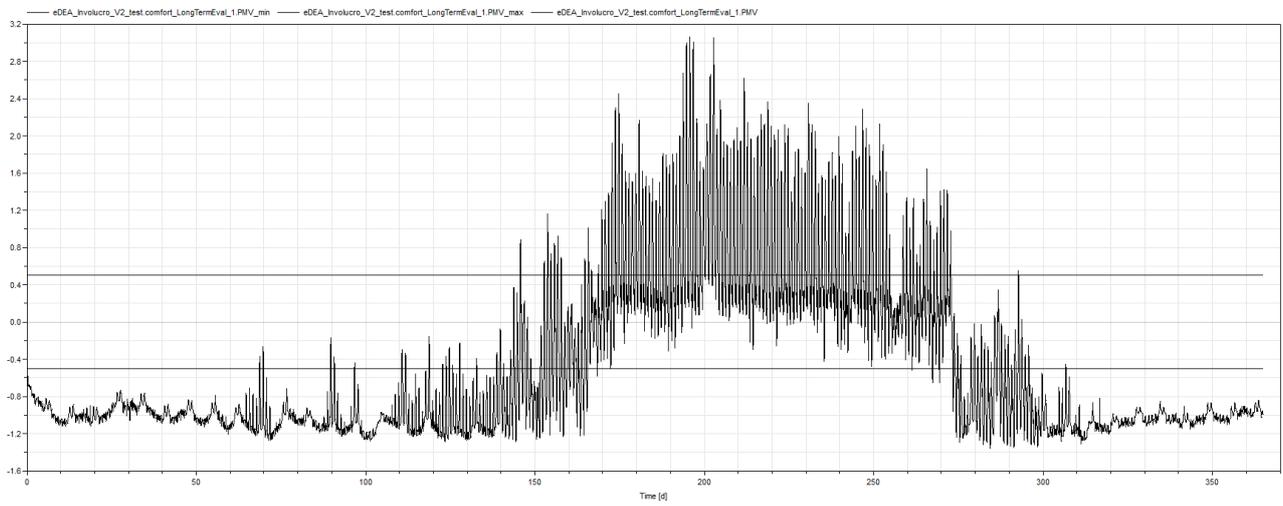


Fig. 144 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona BagnoPT_[Bath]

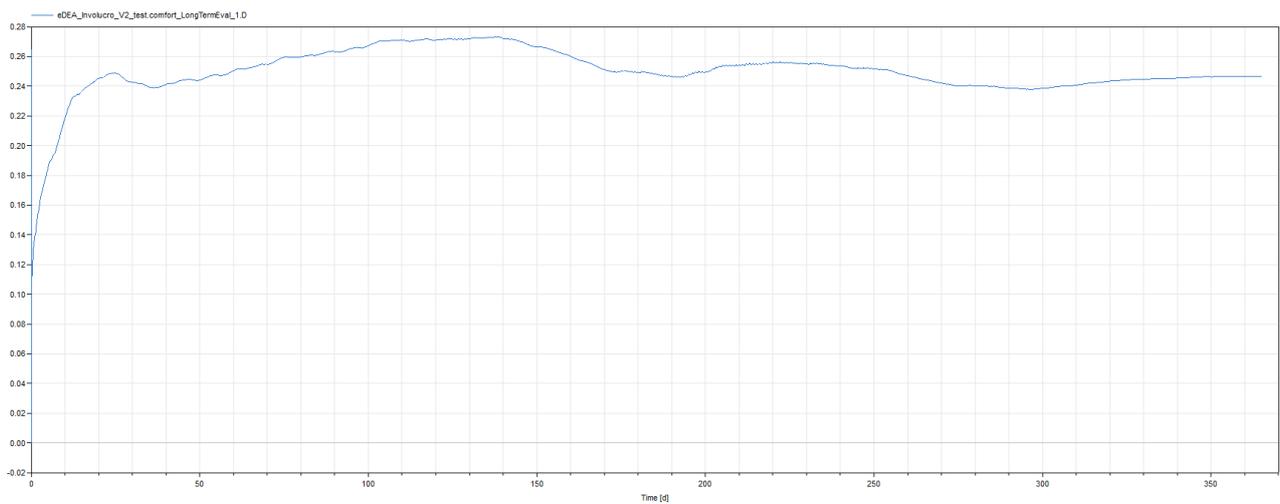


Fig. 145- Metodo D di zona - Media PPD=17%_BagnoPT[Bath]

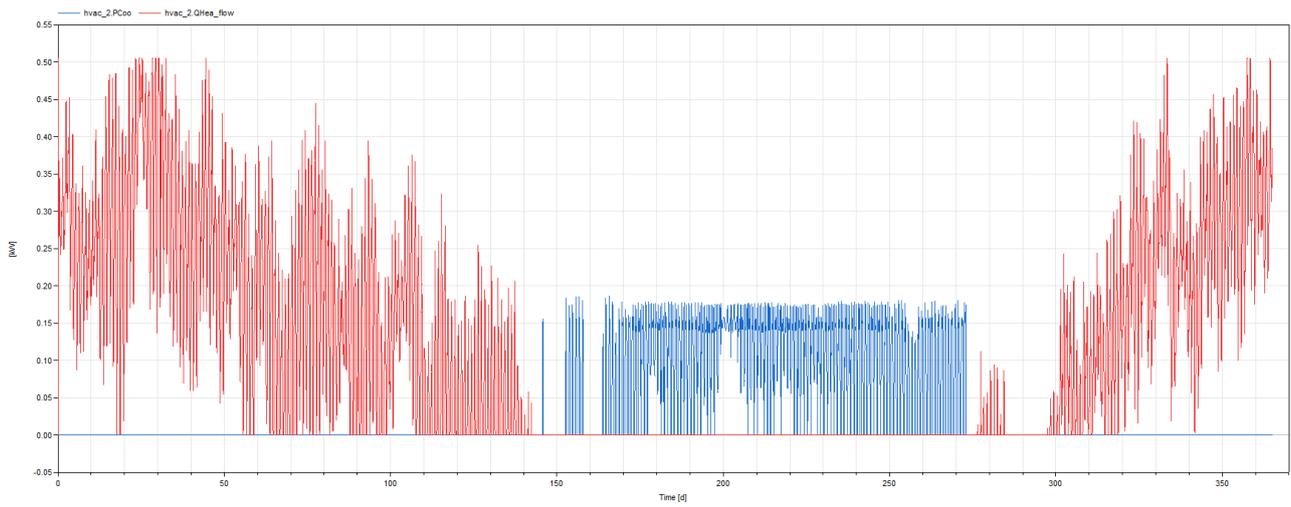


Fig. 146 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Cucina PT[Kitchen]

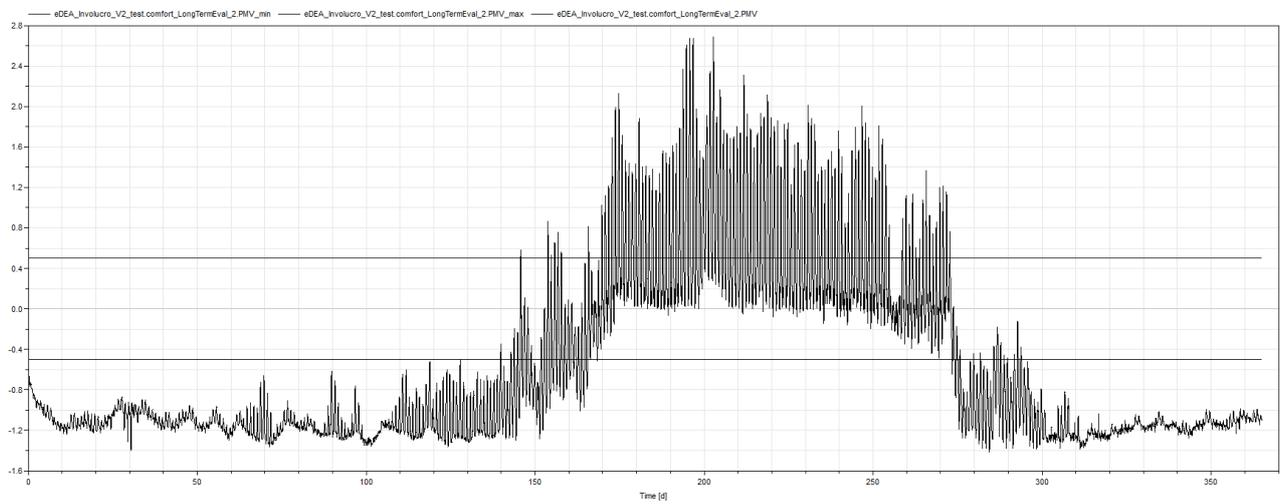


Fig. 147 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Cucina_[Kitchen]

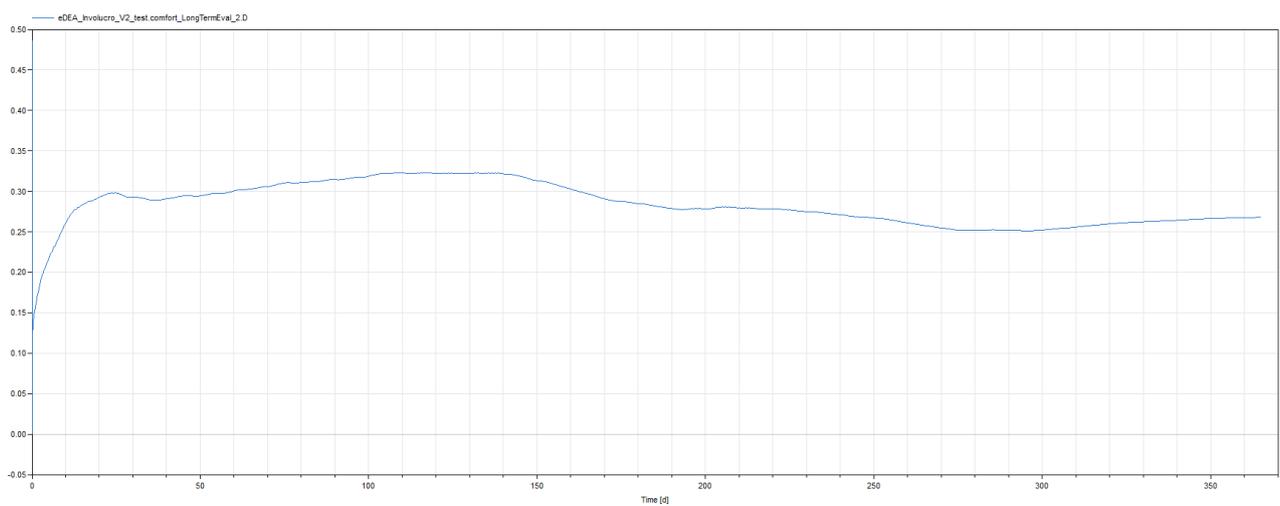


Fig. 148 - Metodo D di zona - Media PPD=19%_Cucina[Kitchen]

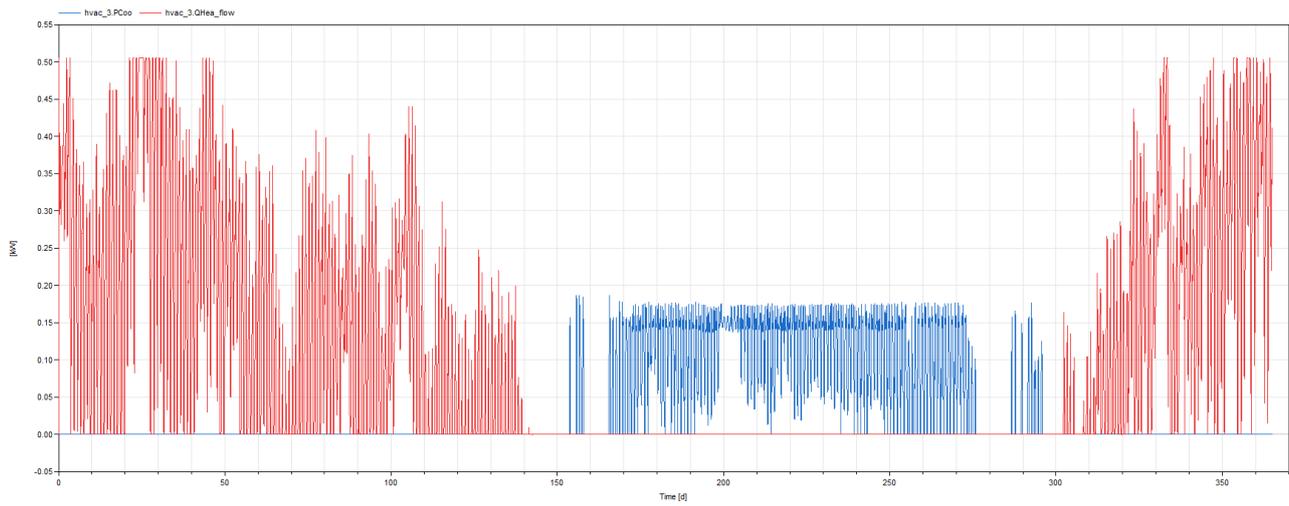


Fig. 149 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Salone comune[LivingRoom]

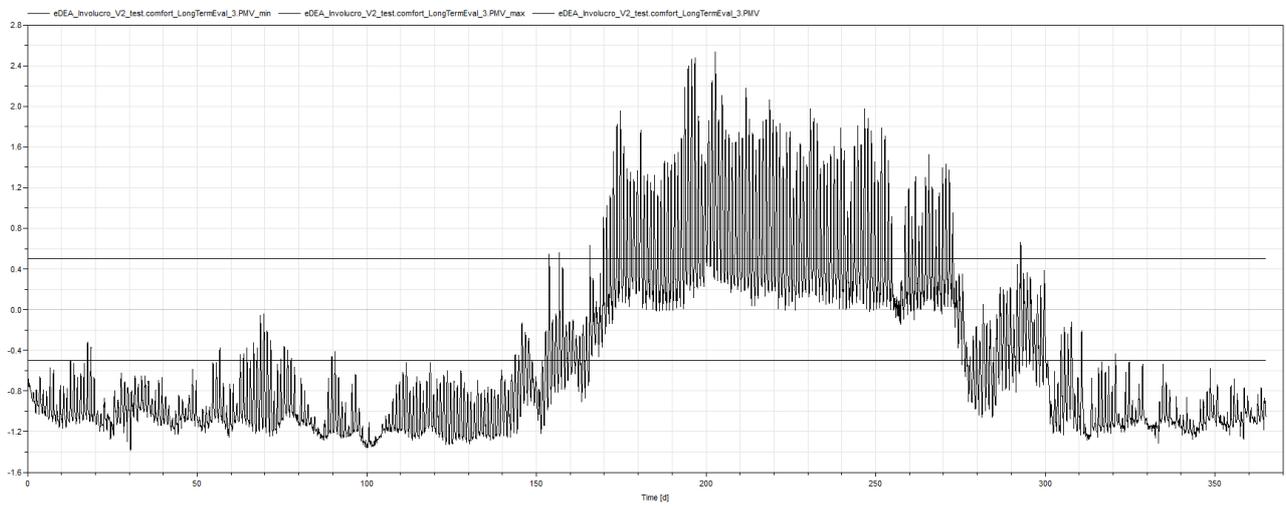


Fig. 150 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Salone_[LivingRoom]

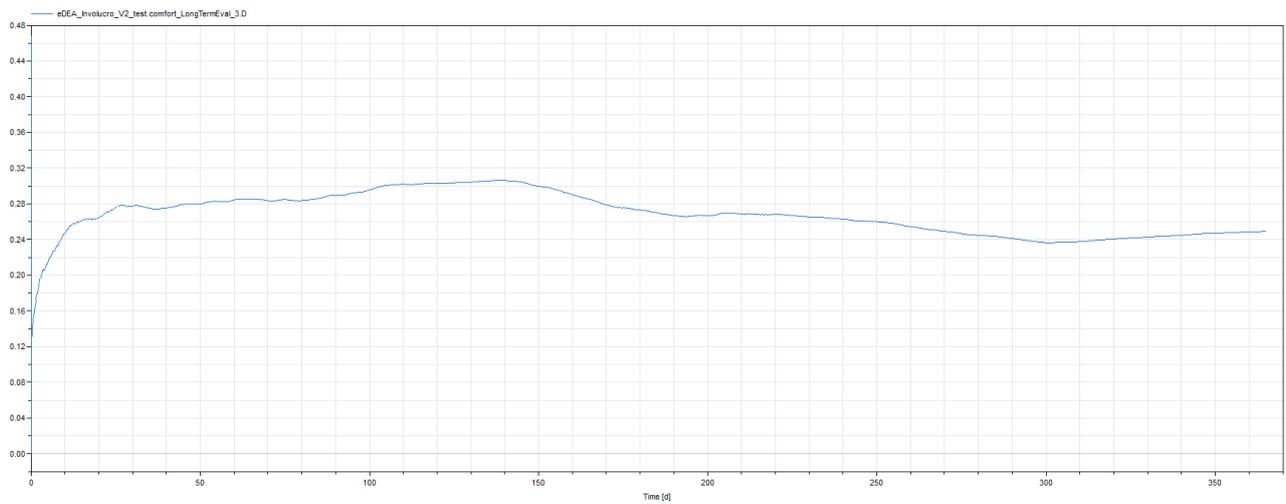


Fig. 151 - Metodo D di zona - Media PPD=18%_Salone[LivingRoom]

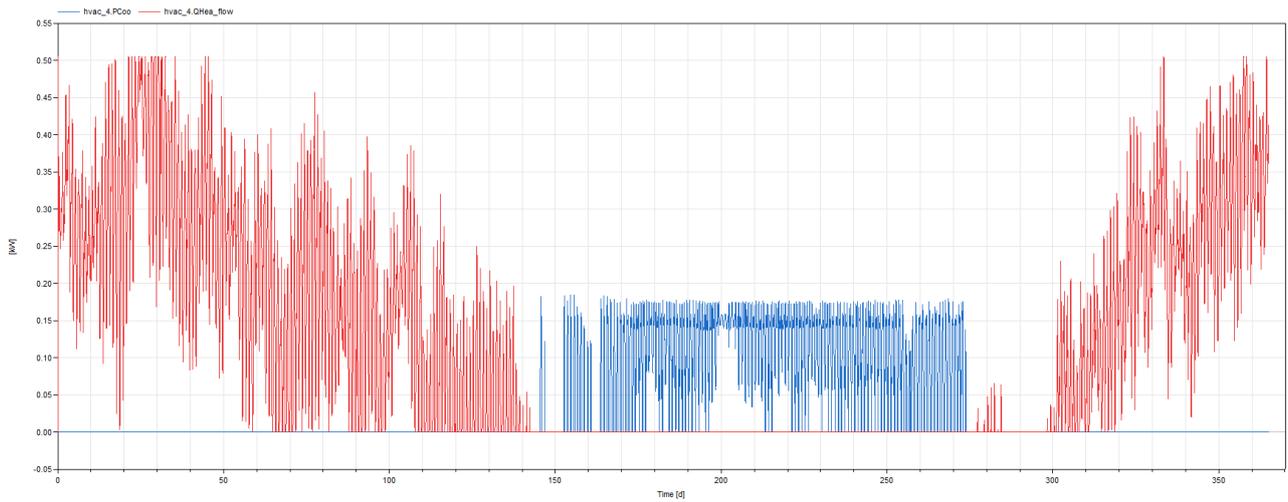


Fig. 152 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera3[Bedroom3]

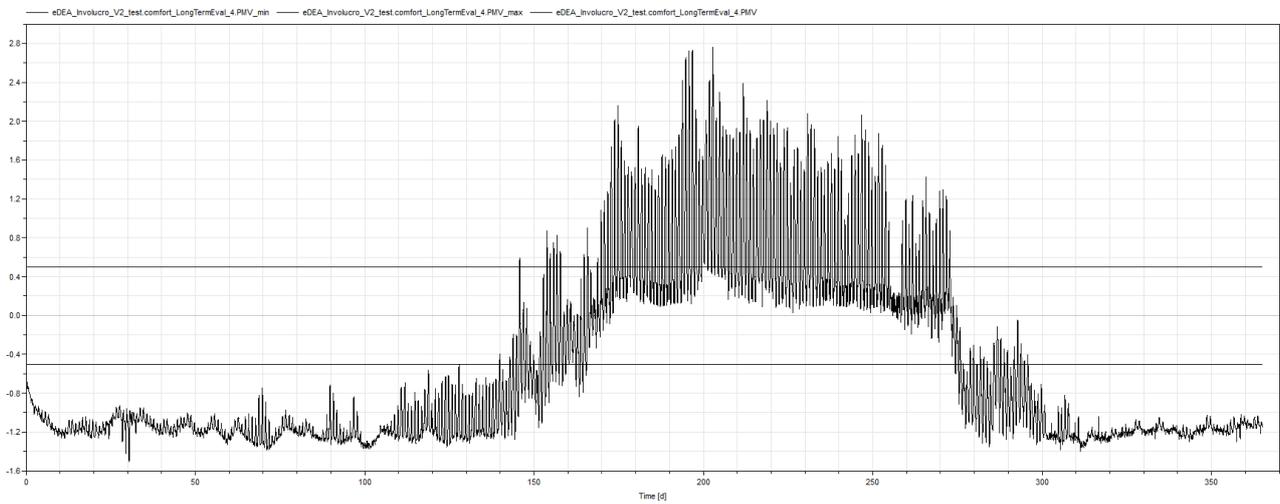


Fig. 153 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera3_[Bedroom3]

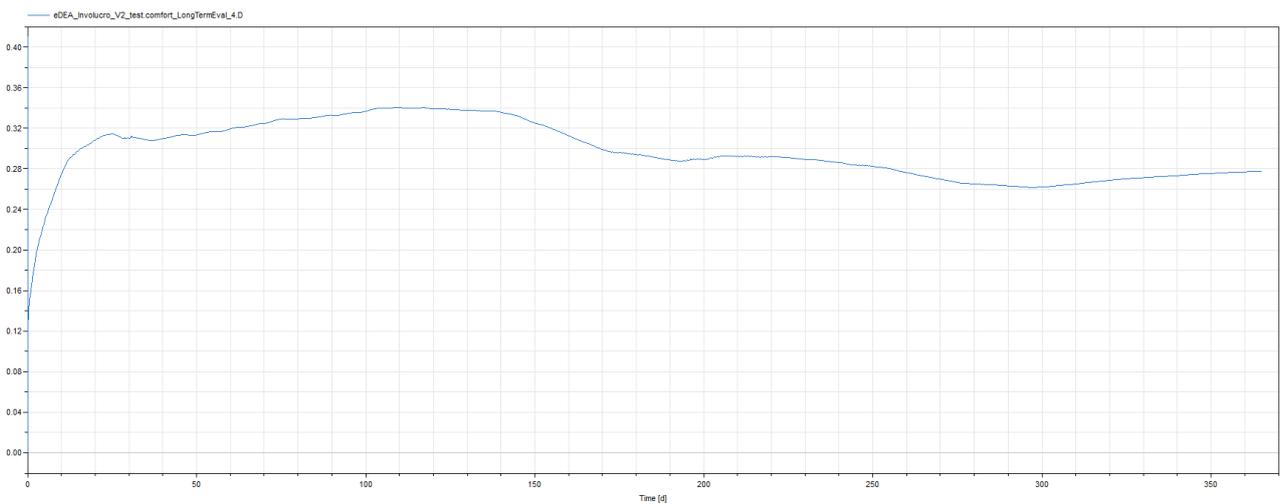


Fig. 154 - Metodo D di zona - Media PPD=20%_Camera3[Bedroom3]

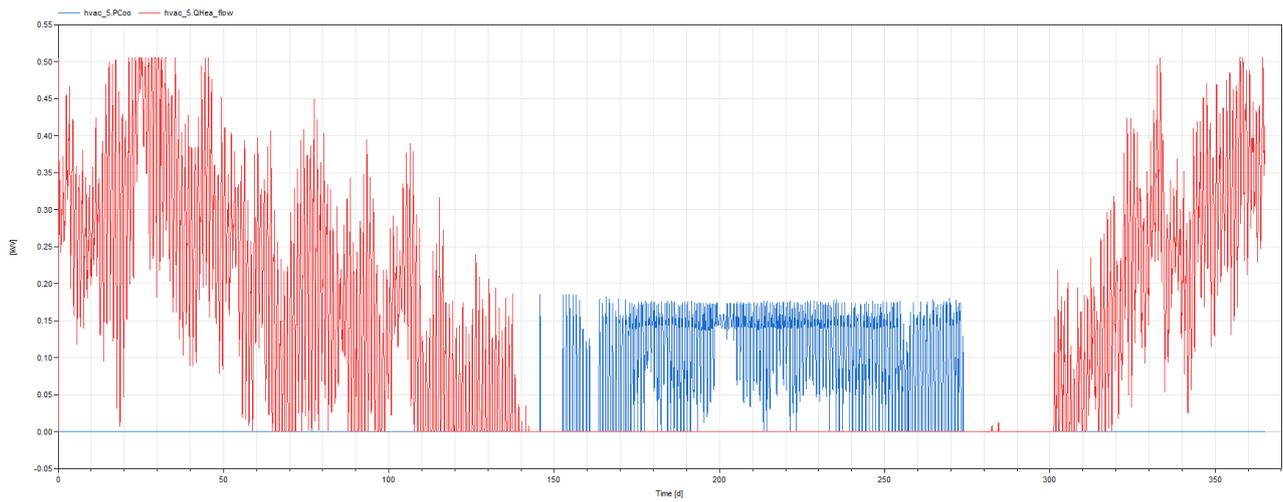


Fig. 155 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera2[Bedroom2]

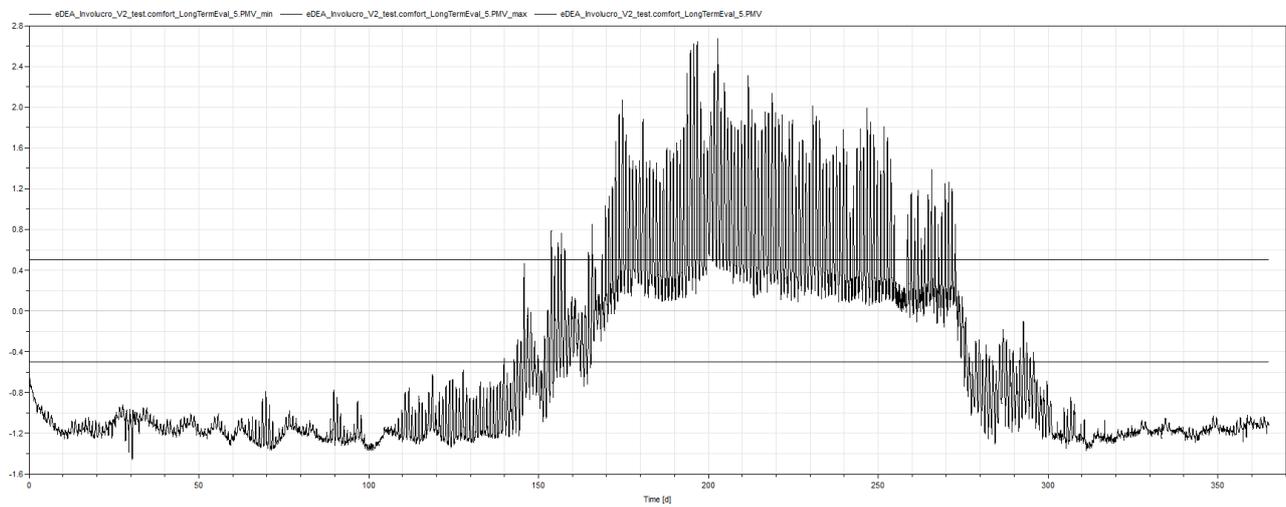


Fig. 156- PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera2_[Bedroom2]

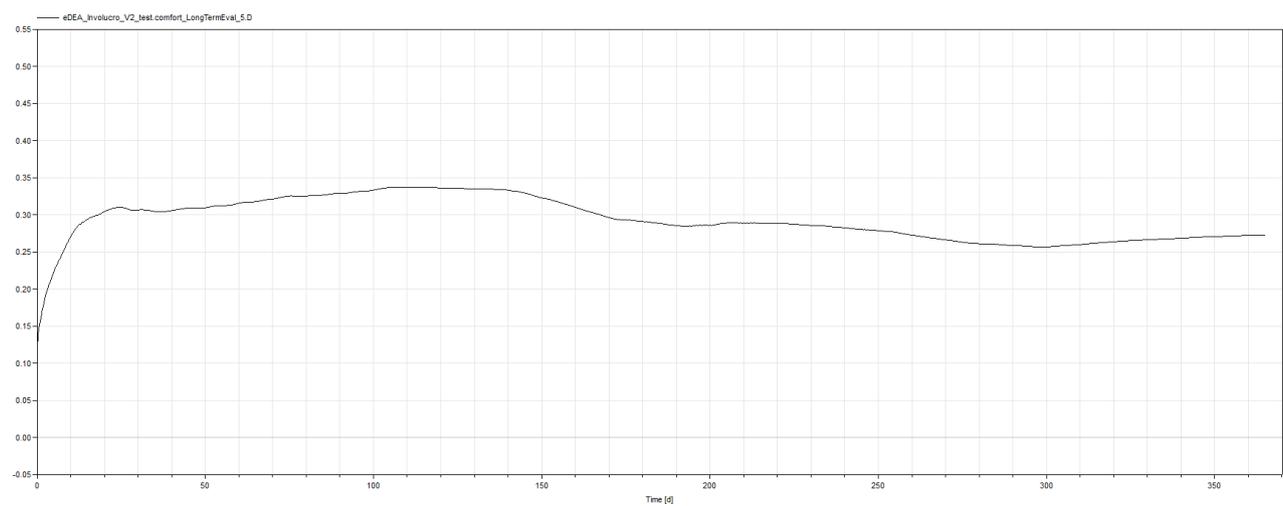


Fig. 157 - Metodo D di zona - Media PPD=20%_Camera2[Bedroom2]

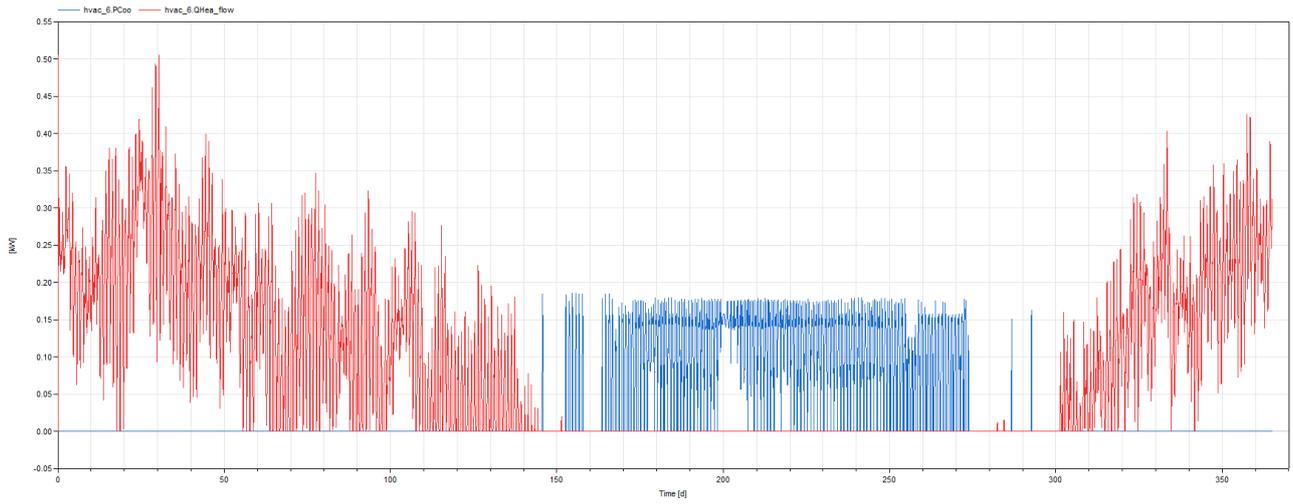


Fig. 158 - Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona BagnoPP[Bath1]

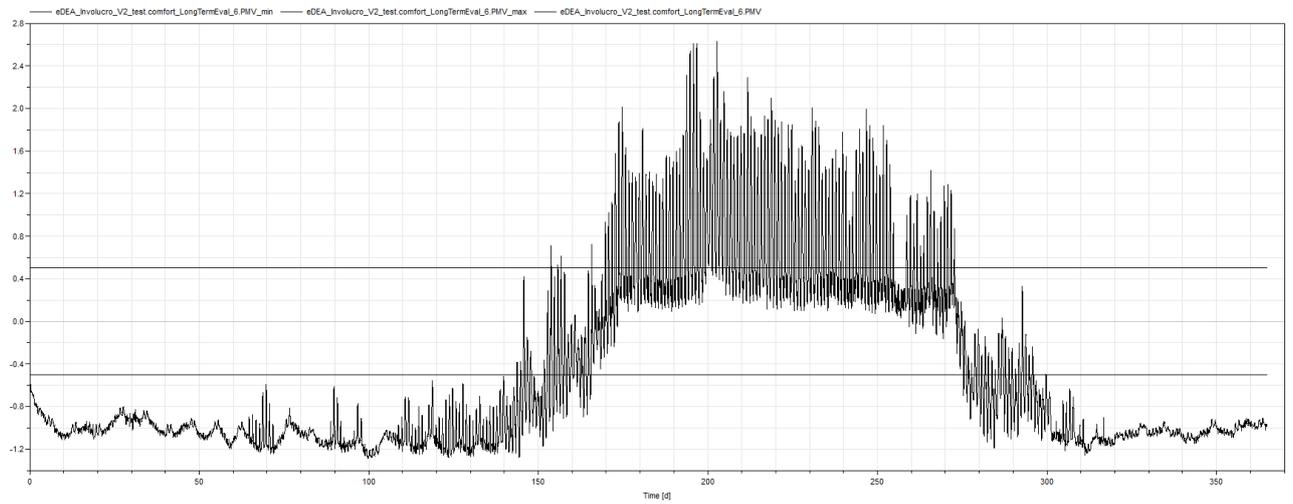


Fig. 159 - PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona BagnoPP_[Bath1]

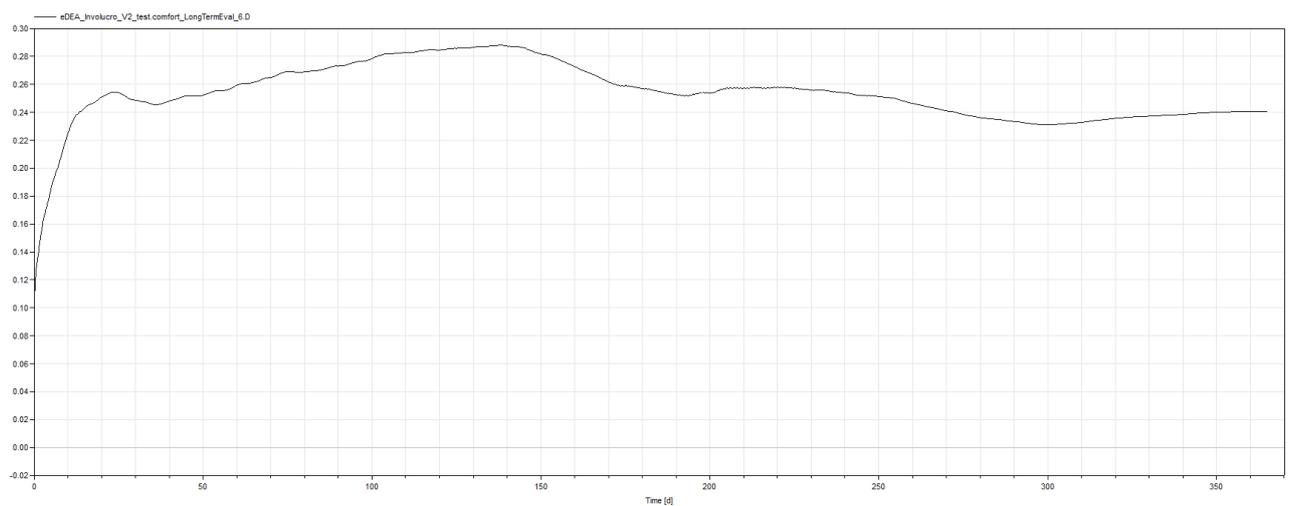


Fig. 160 - Metodo D di zona - Media PPD=17%_BagnoPP[Bath1]

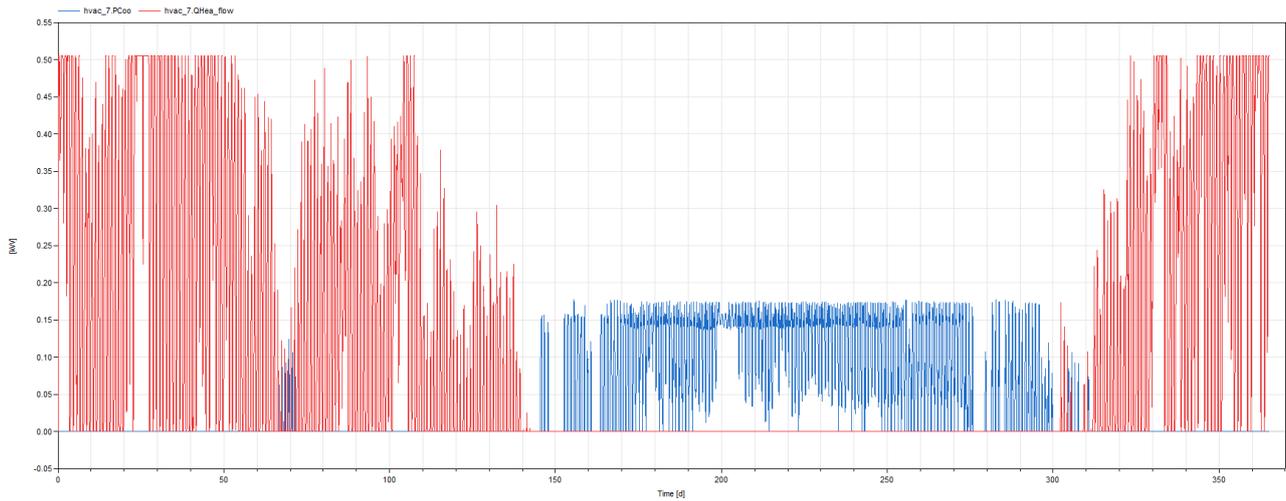


Fig. 161- Potenza in kW dell'HVAC di zona_in rosso[Heating]_in blu[Cooling]_Zona Camera1[Bedroom1]

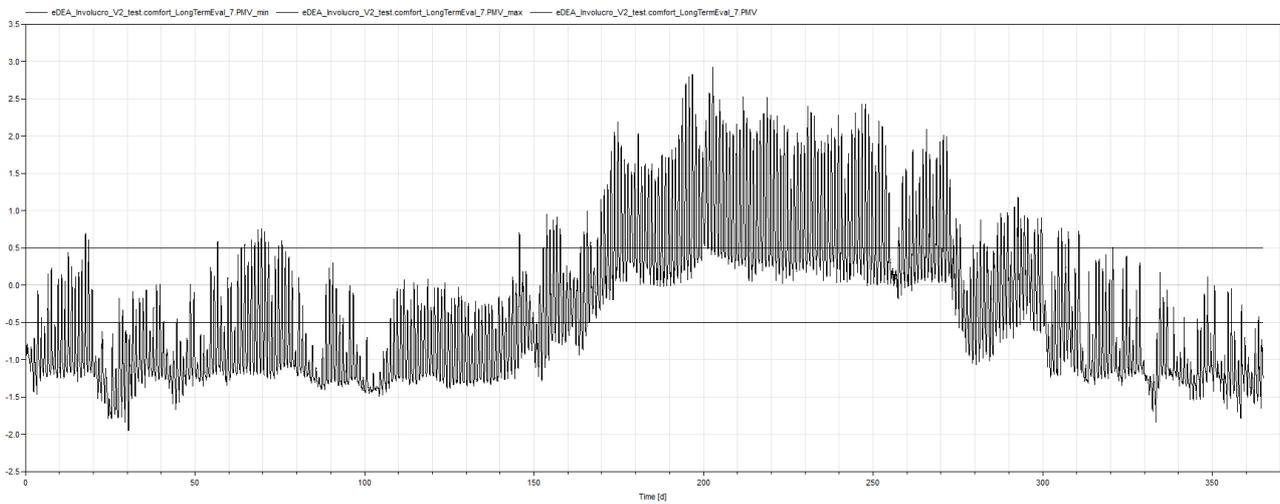


Fig. 162- PMV di zona con limiti sup[+0.5] e inf[-0.5]_Zona Camera1_[Bedroom1]

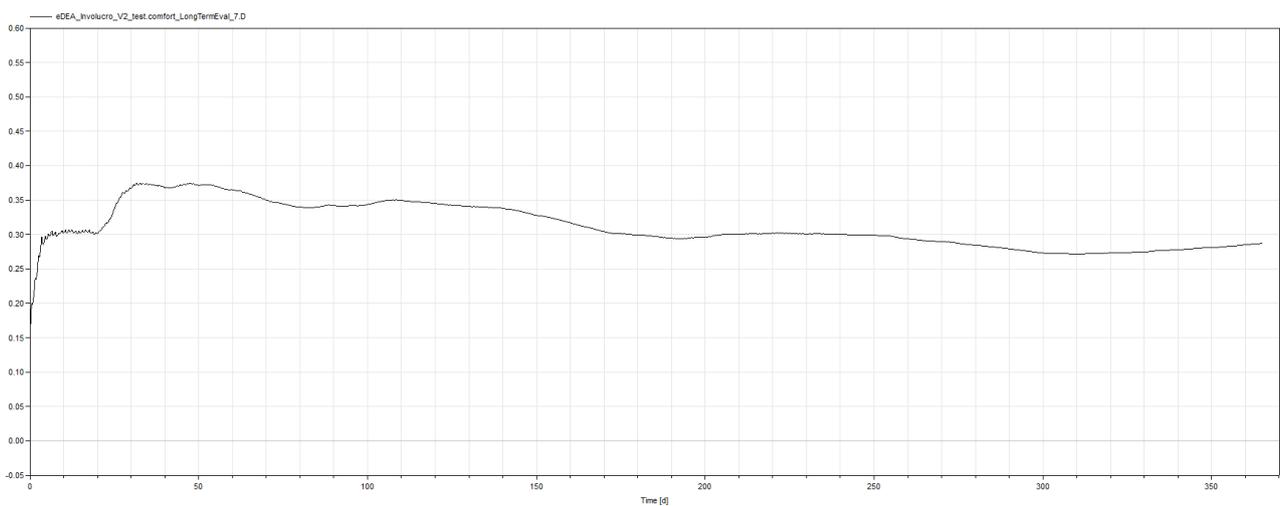


Fig. 163 - Metodo D di zona - Media PPD=21%_Camera1[Bedroom1]

7. ANALISI DEI RISULTATI DI SIMULAZIONE

I risultati prodotti dai diversi scenari di simulazione restituiscono dei KPI che subiscono delle variazioni. In Fig. 164 sono riportati i KPI con i parametri di input cambiati in ogni simulazione.

SCENARIO		A	B	C	D
INPUT DATA	Moltiplicatore di occupazione[k]	1	3	0,3	1
	Potenza in kW per ogni zona di controllo[HVAC]	1	1	1	0,5
	Fattore di Ombreggiamento [uSha=0(senza ombreggiatura);1(ombreggiato)]	0	0	0	0,5
C O N S U M I	KPI				
	Consumo Totale Boiler [kWh]	1238	1220	1244	1240
	Consumo al mq Boiler [kWh/mq]	12,529	12,347	12,59	12,549
	Consumo Totale HVAC[kWh](Heating+Cooling)	16940	14415	18090	16234
	Consumo al mq HVAC [kWh/mq]	171,44	145,89	183,08	164,3
C O M F O R T	PPD medio_Zona 0_Scale [%]	18	12	20	19
	PPD medio_Zona 1_Bagno Piano Terra [%]	16	9	21	17
	PPD medio_Zona 2_Cucina [%]	18	11	21	19
	PPD medio_Zona 3_Salone [%]	16	10	19	18
	PPD medio_Zona 4_Camera 3 [%]	19	13	22	20
	PPD medio_Zona 5_Camera 2 [%]	19	13	22	20
	PPD medio_Zona 6_Bagno Piano Primo [%]	17	10	20	17
	PPD medio_Zona 7_Camera 1 [%]	17	13	19	21
	Media Comfort Totale [%]	17,5	11,375	20,5	18,875

Fig. 164 - Tabella di sintesi delle simulazioni fatte

Il primo dato su cui si pone l'attenzione è il consumo del boiler il quale non avendo particolari tecniche di controllo che prevedono segnali sull'occupazione non subisce variazioni in tutti e quattro gli scenari.

L'impianto HVAC invece si presenta con diverse variazioni di consumo restando praticamente invariato nel caso D e subendo delle variazioni per via dell'occupazione negli scenari B e C; per via dell'apporto termico degli occupanti, si nota una diminuzione di calore immesso del 14,9% per una differenza di 2525 kWh nel caso B mentre l'energia termica necessaria per raggiungere la temperatura desiderata nel caso C aumenta del 6,8 % pari a 1150 kWh.

Alla luce dei parametri di comfort si ritiene che lo scenario del caso D non provoca praticamente nessuna invarianza tangibile: sia i dati sul comfort che quelli sui

consumi mostrano una sostanziale continuità per cui non si ritiene uno scenario, come quello indicato nel caso D, possibile causa di intervento da parte del facility manager.

Il caso B è il più aderente e funzionale alla tecnica di controllo utilizzata e per questo motivo presenta i dati più favorevoli che pongono l'utenza ed il gestore del bene su un piano soddisfacente per entrambi. In questo caso infatti i consumi diminuiscono al pari di un aumento di comfort; il motivo è attribuibile all'aumento di apporto termico degli occupanti i quali favoriscono un mantenimento della temperatura desiderata all'interno della zona di controllo.

Il caso C invece sotto l'aspetto del comfort denota un'inflexione verso il basso facendo aumentare la percentuale di insoddisfatti rispetto all'aumento dei consumi. Qui è identificabile un Alert poiché una situazione come questa non è sostenibile a lungo termine; il margine di miglioramento risiede nella sensoristica sull'occupazione: dei sensori di occupazione collegati, attraverso logiche di controllo, alla distribuzione dei fluidi termovettori è una strada possibile per l'abbassamento dei consumi al pari dello stesso comfort.

8. CONCLUSIONI

In conclusione, questo lavoro di tesi è nato con l'obiettivo di muovere un altro passo su una strada ancora in costruzione circa il mondo del controllo degli impianti di climatizzazione in ambiente BIM. Sicuramente la prima considerazione che si fa è sulla scarsità di informazioni inscrivibili all'interno di un file IFC rispetto i controlli.

L'entità IFCcontroller non è sufficiente perché mancante di tecniche e strategie di controllo nonché di informazioni circa le classi di automazione descritte secondo la norma UNI EN ISO 15232; sotto questo aspetto il lavoro svolto dal gruppo di Open Building Control sembra percorrere questa strada soprattutto grazie alla trascrivibilità delle sequenze di controllo in ambiente Modelica. L'interoperabilità tra le diverse matrici di file OpenBIM è però essenziale per poter dare ai software di simulazione esterna sufficienti informazioni circa la modellazione.

L'ausilio di software di simulazione per il facility management gioca un ruolo cruciale soprattutto quando in un edificio possono incrociarsi interventi finalizzati a prestazioni differenti; tra di essi possano crearsi dei conflitti lungo il ciclo di vita degli edifici. Eventi drammatici come l'incendio della Grenfell Tower a Londra nel 2017 piuttosto che l'incendio della Torre dei Mori a Milano nell'agosto di quest'anno pongono l'accento sull'importanza di cercare la riduzione dell'errore umano anche in operazioni prettamente manageriali.

Per questo ed altri motivi si è voluto, con questa tesi, provare ad illustrare i punti salienti delle procedure BIM BASED e ciò che ancora è possibile fare per i motivi sopra citati.

9. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Anna Amato, Ezilda Costanzo, Biagio Di Pietra, Francesca Hugony, «La Direttiva Europea 2018/844 che modifica l'EPBD», Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2018, ENEA - Dipartimento Unità Efficienza Energetica
- Sito INAIL: indici di valutazione per ambienti moderati
- http://www.portale4e.it/centrale_dettaglio_imprese.aspx?ID=2
- <https://obc.lbl.gov/specification/process.html>
- Norma UNI 7730
- Schede tecniche progetto "EDEA"
- buildingSMART. International, «IFC4_ADD2_TC1 - 4.0.2.1,» [Online]. Available: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/link/alphabeticalorder-entities.htm.
- *UNI EN ISO 41011:2018 - Facility management - Vocabolario*, 2018.
- *UNI EN ISO 41001:2018 - Facility management - Sistemi di gestione - Requisiti congrua per l'utilizzo*, 2018.
- *UNI EN ISO 19650-1:2019 - Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Pa*, 2019.
- buildingSMART. International, «IFC Specifications Database,» [Online]. Available: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>.