



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**Facoltà di INGEGNERIA EDILE**

**Corso di Laurea Magistrale in Impianti e Sistemi di Controllo**

**Influenza del comportamento degli occupanti sulla calibrazione e simulazione di modelli energetici di edifici residenziali: applicazione a un caso studio in diversi scenari di riqualificazione**

**Influence of occupants' behaviour on calibration and simulation of residential buildings energy models: application to a case study under different renovation scenarios**

**Relatrice:**

**Prof.ssa Elisa Di Giuseppe**

**Co-Relatori:**

**Ing. Gianluca Maracchini**

**Prof. Marco D'Orazio**

**Studente:**

**Muhammad Ahsan Ashfaq**

**Anno Accademico 2021/2022**

*I progetti muoiono se li credi impossibili*

*Francesco Caputo*

# Sommario

1	Abstract .....	7
2	Introduzione .....	8
3	Stato dell'arte.....	12
3.1	Calibrazione di modelli energetici .....	12
3.2	Influenza degli occupanti sulle prestazioni dei modelli energetici .	14
4	Fasi.....	18
4.1	Realizzazione del modello energetico.....	18
4.2	Definizione dei profili di utilizzo .....	18
4.3	Simulazione e calibrazione.....	18
4.4	Definizione degli scenari di riqualificazione e valutazione dell'influenza del comportamento degli occupanti.....	19
5	Materiali.....	20
5.1	Edificio oggetto di analisi.....	20
5.1.1	Informazioni generali .....	20
5.1.2	Piante e prospetti.....	21
5.1.3	Stato di fatto.....	24
5.2	Stato di progetto 1 .....	30
5.3	Stato di progetto 2 .....	33
5.4	Sistema di monitoraggio .....	35
5.4.1	Piante dei sensori.....	36
5.4.2	Dati dei sensori .....	39
6	Metodi.....	42
6.1	Modellazione con Design Builder .....	42
6.1.1	Il software: Design Builder .....	42

6.1.2	Creazione di un nuovo file .....	42
6.1.3	Creazione di un nuovo edificio/piano .....	43
6.1.4	Inserimento dxf.....	44
6.1.5	Inserimento blocco .....	45
6.1.6	Modellazione finestre.....	46
6.1.7	Modellazione balconi.....	48
6.1.8	Modellazione Riscaldamento.....	50
6.1.9	Modellazione Raffrescamento.....	50
6.1.10	Modellazione ACS.....	52
6.1.11	Modellazione edifici e oggetti adiacenti.....	53
6.1.12	Modellazione degli occupanti.....	53
6.1.13	Modellazione dell'apertura e chiusura delle finestre e porte- finestre	54
6.1.14	Modellazione delle infiltrazioni .....	55
6.2	Analisi dei dati di monitoraggio e creazione dei profili di utilizzo ...	56
6.2.1	Periodo studio.....	56
6.2.2	Dati climatici .....	57
6.2.3	Profili di accensione e spegnimento degli impianti .....	59
6.2.4	Profili di occupazione .....	60
6.2.5	Profili di apertura e chiusura degli infissi .....	62
6.2.6	Profili delle schermature .....	63
6.2.7	Profili in Design Builder .....	64
6.3	Simulazione e calibrazione.....	66
6.3.1	Appartamenti simulati .....	66
6.3.2	Profili di utilizzo .....	67

6.3.2.1	Appartamento A.....	67
6.3.2.2	Appartamento E.....	70
6.3.2.3	Appartamento C.....	72
6.3.2.4	Appartamento B.....	74
6.3.2.5	Appartamento D.....	78
6.3.3	Parametri considerati.....	82
6.3.4	Calibrazione manuale.....	83
6.4	Definizione degli scenari di riqualificazione e valutazione dell'influenza del comportamento degli occupanti.....	84
6.4.1	Condizioni di utilizzo 2 (profili standard).....	84
6.4.2	Simulazioni degli scenari di riqualificazione.....	86
7	Risultati.....	87
7.1	Risultati della simulazione e calibrazione dello stato di fatto.....	87
7.1.1	Appartamento A.....	87
7.1.2	Appartamento E.....	88
7.1.3	Appartamento C.....	89
7.1.4	Appartamento B.....	92
7.1.5	Appartamento D.....	94
7.1.6	Analisi dei risultati.....	97
7.2	Risultati delle simulazioni degli scenari di riqualificazione.....	101
7.2.1	Risultati globali delle simulazioni degli scenari di riqualificazione	101
7.2.2	Risultati delle simulazioni degli scenari per ogni appartamento	103
7.2.2.1	Appartamento B.....	104
7.2.2.2	Appartamento D.....	106

7.2.2.3	Appartamento C .....	107
8	Conclusioni .....	110
9	Bibliografia.....	112
10	Indice delle immagini.....	113

# 1 Abstract

L'obiettivo di questa tesi è stato quello di comprendere l'influenza degli occupanti nelle simulazioni e nei modelli energetici.

Utilizzando un sistema di monitoraggio BEMS installato su un edificio caso studio, è stato possibile ottenere dei profili di utilizzo specifici riguardo l'accensione degli impianti, l'occupazione, l'apertura e chiusura degli infissi e l'utilizzo delle schermature.

Tali profili di utilizzo hanno permesso di ottenere un modello calibrato che è stato utilizzato come base per ottenere il modello dello stato di riqualificazione 1, per il quale è prevista l'installazione del cappotto esterno e la sostituzione degli infissi.

Dal modello di riqualificazione 1 è stato ottenuto il modello 2, per il quale è prevista l'installazione della copertura ventilata e traspirante costituita da tegole "HEROTILES".

Successivamente, sono state considerate, per i tre scenari studio, due condizioni di utilizzo: le condizioni reali, ricavate dal modello calibrato, e le condizioni standard, ottenute utilizzando i valori e i profili dell'occupazione e della ventilazione ricavati dalla normativa vigente.

Infine, confrontando la domanda di energia per raffrescamento nelle due condizioni e per i tre scenari di riqualificazione, è stato possibile valutare l'influenza degli occupanti sulla domanda di energia dell'edificio.

## 2 Introduzione

Negli ultimi decenni, per quanto le politiche europee in tema di riduzione dell'emissione di inquinanti abbiano permesso una sostanziale riduzione delle emissioni di gas serra, risulta ancora evidente la necessità di ridurre ulteriormente i consumi e le emissioni di gas serra, anche in funzione degli obiettivi previsti dall'UE sia per il 2030, attraverso il pacchetto "Fit for 55%", che per il 2050.

In Europa, il settore edilizio è responsabile del 40% dei consumi energetici e del 36% delle emissioni di CO<sub>2</sub> [1]. In Italia, tali dati risultano essere ancora peggiori per quanto riguarda i consumi energetici, con un valore pari al 45% del totale.

Con riferimento ai dati resi disponibili dall'ENEA, è possibile osservare come più dell'80% degli edifici residenziali si trovano in classe D o inferiore, con almeno il 35% di essi che appartengono alla classe G [2].

Attualmente il tasso di rinnovo delle abitazioni risulta essere pari allo 0,85%. Grazie ai vari bonus resi disponibili negli ultimi anni e allo stanziamento di circa 13,9 miliardi per l'efficientamento energetico e la riqualificazione degli edifici, previsti dal Pnrr, si prevede di raggiungere un tasso di rinnovo pari all'1,2%. Tuttavia, tale dato risulta essere ancora lontano dal 2,1% necessario per raggiungere il target europeo [2].

Agire sul patrimonio edilizio migliorando le prestazioni può permettere di ridurre sia le emissioni e che i consumi.

È in questo contesto che si inserisce il progetto europeo "LIFE SUPERHERO" che promuove le coperture in laterizio ventilate e traspiranti, attraverso l'utilizzo delle tegole "HEROTILES" [3]. Quest'ultime permettono di ottenere, attraverso un raffrescamento passivo degli edifici, una riduzione dei fabbisogni per il raffrescamento e una riduzione dell'effetto isola di calore presente in gran parte degli agglomerati urbani.



Per quanto, la tecnologia delle coperture ventilate risulti essere consolidata, il potenziale di tale intervento risulta ancora essere sottostimato.

Per tale motivo il progetto "LIFE SUPERHERO" ha predisposto un sistema di monitoraggio delle prestazioni termiche ed energetiche di due edifici "caso studio" situati a Reggio Emilia.



*Figura 1 - Edifici caso studio del progetto "Life Superhero"*

Le palazzine scelte, la numero 23 e 25, presentano prestazioni energetiche basse e sono soggette a temperature rigide d'inverno e caldi afosi in estate.

Il progetto ha 2 obiettivi principali:

- sviluppare delle linee guida utili a riqualificare le coperture piane esistenti con coperture leggere ventilate e permeabili (tetto VPR-HBR) costituite da tegole "HEROTILES";
- monitorare gli edifici nelle diverse fasi di riqualificazione al fine di valutare l'effettivo miglioramento.

Il monitoraggio degli edifici è iniziato nell'estate del 2021 e proseguirà nelle fasi e stagioni successive. Nello specifico saranno monitorati gli appartamenti all'ultimo piano, che si trovano sotto la copertura piana.

Gli edifici prevedono le seguenti fasi di studio e riqualificazione:

- 2021/2022 = edifici esistenti con copertura piana;
- 2022/2023 = edifici rinnovati attraverso la realizzazione di un cappotto esterno e sostituzione degli infissi;
- 2023/2024 = edifici rinnovati con copertura ventilata e permeabile.

EDIFICIO ESISTENTE con tetto piano non isolato	EDIFICIO RINNOVATO (cappotto esterno e nuovi serramenti)	EDIFICIO RINNOVATO CON INTRODUZIONE di HBR ISOLATO
		

Per il monitoraggio è stato previsto un sistema LoRaWAN composto da diversi dispositivi al fine di monitorare: i consumi, le condizioni climatiche degli appartamenti studiati e dell'ambiente esterno, l'apertura e chiusura degli infissi, e le temperature superficiali, interne ed esterne, della copertura.

Nello specifico, l'obiettivo di questa tesi è stato, attraverso la realizzazione di un modello calibrato dell'edificio caso studio numero 25, valutare e comprendere l'influenza che gli occupanti hanno nelle simulazioni e nei modelli energetici.

Per effettuare la calibrazione è stato deciso di utilizzare i dati ricavati dai sensori installati negli appartamenti, al fine di ottenere dei profili di utilizzo o "schedule" specifici per quanto riguarda le accensioni degli impianti, l'occupazione, l'apertura e chiusura degli infissi e l'utilizzo delle schermature.

I profili di utilizzo generati dai sensori sono stati successivamente utilizzati in Design Builder, un programma di modellazione energetica, con il quale è stato possibile ottenere un modello calibrato dell'edificio.

Il modello calibrato è stato utilizzato come base per ottenere il modello dello stato di riqualificazione 1, per il quale è prevista l'installazione del cappotto esterno e la sostituzione degli infissi. Dal modello di riqualificazione 1 è stato ottenuto il modello 2 per il quale è prevista l'installazione della copertura ventilata e traspirante costituita da tegole "HEROTILES".

Successivamente, sono state considerate, per i tre scenari studio, due condizioni di utilizzo: le condizioni reali, ricavate dal modello calibrato, e le condizioni standard, ottenute utilizzando i valori e i profili dell'occupazione e della ventilazione ricavati dalla normativa vigente.

Infine, confrontando la domanda di energia per raffrescamento nelle due condizioni e per i tre scenari di riqualificazione, è stato possibile valutare l'influenza degli occupanti sulla domanda di energia dell'edificio.

## 3 Stato dell'arte

L'analisi dello stato dell'arte ha riguardato due argomenti nello specifico: la calibrazione di modelli energetici di edifici e l'influenza che occupanti hanno sulle prestazioni energetiche ricavate dai modelli.

### 3.1 Calibrazione di modelli energetici

Per la calibrazione di modelli energetici si intende il processo mediante il quale, regolando i parametri del modello, diminuisce il divario tra i risultati ottenuti del modello simulato e i dati rilevati ottenuti dall'edificio studiato.

Successivamente viene effettuato un processo di convalida, con il quale si conferma la validità del modello in base alle discrepanze tra i dati simulati e rilevati.

Per questo motivo, la misura dell'accuratezza di un modello risulta essere di notevole rilevanza in quanto un modello calibrato può essere utilizzato per applicare e studiare diverse strategie di efficientamento energetico.

Attualmente in Italia, non sono presenti normative che stabiliscono la misura dell'accuratezza di un modello, mentre a livello internazionale sono rilevanti le seguenti linee guida:

- La linea guida 14-2014 dell'ASHRAE;
- Il Protocollo internazionale di misura e verifica delle prestazioni (IPMVP);
- Il programma federale di gestione dell'energia (FEMP).

Quella più riconosciuta ed utilizzata risulta essere la linea guida 14-2014 dell'ASHRAE.

Per controllare l'accuratezza della simulazione e validare il modello, vengono utilizzati i seguenti parametri [4]:

- Errore %= valori di errore percentuale (%);

$$\text{Errore \%} = \frac{y_r - y_s}{y_r} * 100 = [\%]$$

- MBE = errore medio normalizzato;

$$\text{MBE} = \frac{\sum(y_r - y_s)}{\sum y_r} * 100 = [\%]$$

- CV(RMSE) = coefficiente di variazione dell'errore quadratico medio.

$$\text{CV(RMSE)} = \frac{1}{\bar{y}_r} \sqrt{\frac{\sum(y_r - y_s)^2}{(n-p-1)}} = [\%]$$

$y_r = [^{\circ}C]$  = misura rilevata

$\bar{y}_r = [^{\circ}C]$  = media delle misure rilevate

$y_s = [^{\circ}C]$  = misura simulata

$n = [-]$  = intervalli

$p = [-]$  = numero di variabili di predizione

Attualmente, le normative internazionali prescrivono i seguenti valori limite, orari e mensili, per i consumi energetici.

*Table5 Acceptable tolerances defined by Guideline Standards*

INDEX	ASHRAE 14 (%)	IPMVP (%)	FEMP (%)
CV(RMSE)	± 15	-	±15
MBE	± 5	±20	±5

(Coakley et.al, 2014)

Figura 2 - Tabella con valori limite per la calibrazione dei consumi energetici

Per quanto riguarda le temperature non sono ancora disponibili in letteratura delle linee guida da seguire e con le quali validare i modelli energetici.

Risulta quindi evidente la necessità di studiare metodi di simulazione e calibrazione al fine di ottenere delle linee guida e dei metodi di validazione tali da permettere di ottenere modelli calibrati, sia dal punto di vista dei consumi che delle temperature.

### **3.2 Influenza degli occupanti sulle prestazioni dei modelli energetici**

Il comportamento degli occupanti risulta avere una notevole importanza nei consumi invernali ed estivi in quanto provoca una notevole discrepanza tra i consumi previsti o simulati e quelli reali.

Questi valori sono amplificati nelle abitazioni rispetto agli uffici, in quanto l'utente finale ha un maggiore controllo dei sistemi di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione.

Lo stile di vita, il reddito, l'educazione, la percezione del comfort termico e le informazioni riguardanti i consumi energetici sono solo alcuni dei parametri che incidono sul comportamento degli utenti.

Verhallen e Van Raaij [5] hanno ricavato una relazione tra la temperatura del termostato dagli utenti e i differenti stati di occupazione dell'appartamento: assenza, presenza durante il giorno, presenza durante la notte. Inoltre, hanno compreso che le abitudini e gli schemi comportamentali degli utenti relative ai consumi sono difficili da cambiare.

Wei et al. [5], attraverso un'analisi dettagliata della letteratura, ha fornito 27 fattori che possono influire sulle preferenze del riscaldamento. Di questi solamente 5 (temperatura e umidità esterna, numero di occupanti, tipologia di stanza e ora del giorno) sono normalmente utilizzati nei modelli energetici.

Ulteriori studi hanno dimostrato come la modellazione energetica delle abitazioni, a differenza degli uffici ed esercizi commerciali, risulta essere particolarmente sensibile ai set-point di temperatura impostati e agli orari di

raffrescamento, per i quali non sono disponibili valori né nella normativa né in letteratura.

I programmi di simulazione energetica sono utili in fase di progettazione in quanto permettono di valutare le strategie progettuali. Tali software necessitano di informazioni sulla geometria, orientamento, materiali, sistema di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione e sistema di illuminazione.

Ci sono molti input che hanno un andamento variabile nel tempo, come l'illuminazione, la posizione delle schermature, l'apertura e chiusura degli infissi, i carichi termici ed elettrici. Alcune di queste variabili sono influenzate dagli occupanti, dal meteo o da entrambi.

Esempi dell'interazione umana con il modello energetico possono essere: la temperatura di set-point dell'impianto, il tempo di accensione dell'impianto, la ventilazione naturale attraverso le finestre, i livelli di illuminazione, l'applicazione delle schermature, l'utilizzo degli elettrodomestici e dell'acqua calda sanitaria.

I profili da utilizzare nelle simulazioni di edifici residenziali possono essere ottenuti da analisi effettuate sugli edifici esistenti attraverso sistemi di monitoraggio, denominati "BEMS" (Building Management Energy System). L'analisi di Aragon [5] mostra come i campi di analisi più rilevanti sono i carichi elettrici e la domanda di riscaldamento.

Il fattore "utente" risulta essere molto rilevante per l'accuratezza dei modelli energetici in quanto le caratteristiche fisiche, come involucro edilizio, sistemi HVAC, sistema di illuminazione e carichi elettrici possono essere rappresentati con un livello di dettaglio più che sufficiente, mentre il fattore "utente", data la sua natura stocastica, risulta essere difficile da rappresentare, specialmente nei modelli in cui non abbiamo un sistema di monitoraggio.

L'incertezza dovuta agli utenti può essere notevole nelle simulazioni di edifici residenziali ed attualmente non risultano essere presenti studi rilevanti sui comportamenti degli utenti nelle simulazioni di ambienti interni.

I profili di comportamento degli utenti, "schedule", rappresentano il possibile atteggiamento che l'utente può avere in una specifica giornata. Questi profili sono fattori determinanti per ricavare i consumi energetici giornalieri, settimanali, mensili e stagionali.

I profili giornalieri e settimanali che sono normalmente usati nei modelli energetici possono essere definiti dalla normativa o dai ricercatori sulla base di esperienze pregresse, misurazioni e osservazioni.

Tutti questi profili in genere sono basati su regole deterministiche che considerano i comportamenti degli utenti dipendenti da fattori come la radiazione solare o la temperatura. I profili risultano comunque non essere indicativi in quanto il comportamento degli utenti non è prevedibile e ripetibile.

La rappresentazione del comportamento degli utenti più semplice ed utilizzata è quella ottenuta attraverso schedule orarie che possono variare per tipologia di edificio, nelle diverse stagioni e per giorno tipo. Normalmente vengono utilizzati profili diversi per i giorni lavorativi e per i fine settimana.

Nell'edilizia residenziale possono essere considerate due tipologie di utenti:

- famiglia con figli a carico, dove i genitori lavorano a tempo pieno;
- coppia di anziani in pensione che trascorrono la maggior parte del tempo a casa.

Quando i dati empirici non sono disponibili, è possibile utilizzare dei profili di riscaldamento o raffrescamento standardizzati. Questo metodo è utilizzato anche dalla normativa nazionale per determinare la classe energetica degli edifici in base ai fabbisogni di energia dovuti al riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria ed elettrici.



La normativa attualmente vigente in Italia è il d.m. 25/06/2015 e stabilisce le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche, le prescrizioni e i requisiti minimi degli edifici.

Tuttavia, utilizzare i valori di input della normativa per le variabili che dipendono dagli occupanti, può provocare un discostamento anche notevole rispetto al caso reale [1]. Attualmente, a differenza del riscaldamento invernale, per il quale vengono forniti dei profili di utilizzo dell'impianto in base alla destinazione d'uso, per il raffrescamento estivo non risultano essere definiti i profili nel caso di edifici residenziali.

Molte ricerche hanno provato a ricostruire delle schedule di comportamento degli occupanti, anche se attualmente non sono ancora state raggiunte delle linee guida uniche.

Attraverso la raccolta e l'analisi dei dati sugli utenti, è possibile ottenere dei profili più rappresentativi e simulazioni energetiche più accurate.

È possibile osservare come la maggior parte dei modelli energetici riguardano le prestazioni invernali, mentre risultano essere carenti le analisi delle prestazioni estive.

Inoltre, risulta evidente come studiare il comportamento degli occupanti permette di ottenere profili di utilizzo più rappresentativi da utilizzare nei modelli energetici.

## 4 Fasi

Il lavoro di tesi può essere suddiviso in 4 macro-fasi:

1. Analisi dell'edificio caso-studio e realizzazione del relativo modello energetico;
2. Definizione dei profili di utilizzo;
3. Simulazione e calibrazione del modello allo stato di fatto;
4. Definizione degli scenari di riqualificazione e valutazione dell'influenza degli occupanti attraverso la domanda di energia per raffrescamento.

### 4.1 Realizzazione del modello energetico

Per realizzare il modello è stato utilizzato il software di modellazione energetica Design Builder. Le informazioni riguardanti l'edificio caso-studio sono state ricavate dalla relazione energetica e da ispezioni effettuate in loco.

### 4.2 Definizione dei profili di utilizzo

Nel caso di modelli energetici, per profili di utilizzo o schedule si intende l'andamento nel tempo dei diversi parametri del modello.

Al fine di ottenere un modello calibrato è necessario effettuare una corretta e dettagliata definizione dei profili di utilizzo.

Per la definizione dei profili di utilizzo è stato seguito il seguente metodo:

- È stato definito il periodo studio;
- Sono stati definiti i sensori e i relativi dati da considerare;
- Sono state prodotti i profili da utilizzare nel software di modellazione.

### 4.3 Simulazione e calibrazione

Per quanto riguarda la simulazione e la calibrazione manuale, dopo aver modellato l'edificio ed inserito tutte le schedule sono state effettuate diverse simulazioni, variando i parametri per i quali non sono state definite delle

schedule o per i quali non è stato possibile ottenere dei valori in quanto non monitorati.

#### **4.4 Definizione degli scenari di riqualificazione e valutazione dell'influenza del comportamento degli occupanti**

Successivamente alla calibrazione del modello, sono state creati tre scenari:

1. Stato di fatto: basato sul modello calibrato;
2. Stato di progetto 1: partendo dallo stato di fatto, è stata considerata la realizzazione del cappotto e la sostituzione degli infissi;
3. Stato di progetto 2: partendo dallo stato di progetto 1, è stata modellata una copertura ventilata e permeabile costituito da tegole "HEROTILES".

Per valutare l'influenza del comportamento degli occupanti è stato deciso di esaminare due condizioni di utilizzo:

1. Condizione di utilizzo 1 (sensori): schedule e i valori ottenuti dal modello calibrato;
2. Condizione di utilizzo 2 (standard): partendo dalle condizioni del modello calibrato, le schedule e i valori riguardanti la ventilazione e l'occupazione sono stati impostati in base a valori ottenuti dalla normativa.

Infine, sono stati valutati i risultati della domanda di energia richiesta dagli appartamenti nelle diverse condizioni di utilizzo e nei diversi scenari al fine di valutare l'influenza del comportamento degli utenti.

## 5 Materiali

I “materiali” oggetto della presente tesi, sono stati classificati in:

- Edificio oggetto di analisi;
- Dati ricavati dal sistema di monitoraggio.

### 5.1 Edificio oggetto di analisi

#### 5.1.1 Informazioni generali

L'edificio studio si trova nel comune di Reggio Emilia ed è di proprietà del comune.

Esso è posizionato in un contesto periferico ai margini dell'agglomerato urbano ed è stato realizzato nel 1981 con una struttura prefabbricata in calcestruzzo autoportante e si compone di 3 piani fuori terra.

L'edificio è di tipo residenziale E.1 (1) ed è composto da 13 alloggi di edilizia popolare (categoria A.3 - Abitazioni di tipo economico).



*Figura 3 - Vista aerea edificio "caso studio" n. 2*



Figura 4 – Vista da terra edificio "caso studio"

### 5.1.2 Piante e prospetti

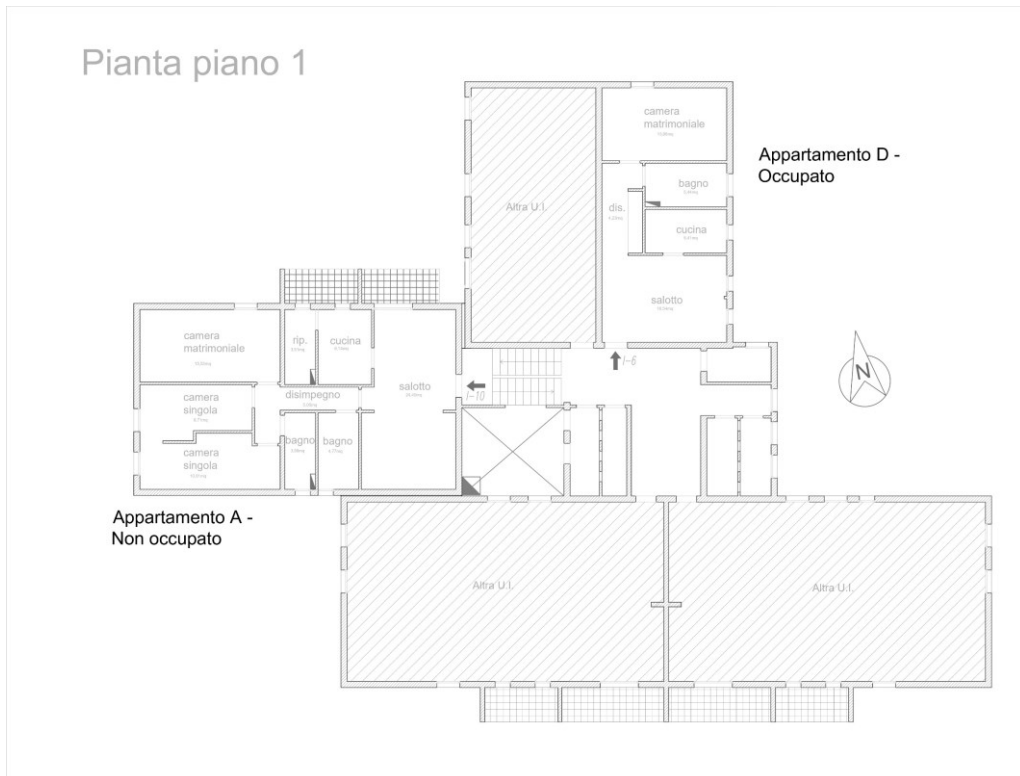


Figura 5 - Pianta Piano 1

## Pianta piano 2

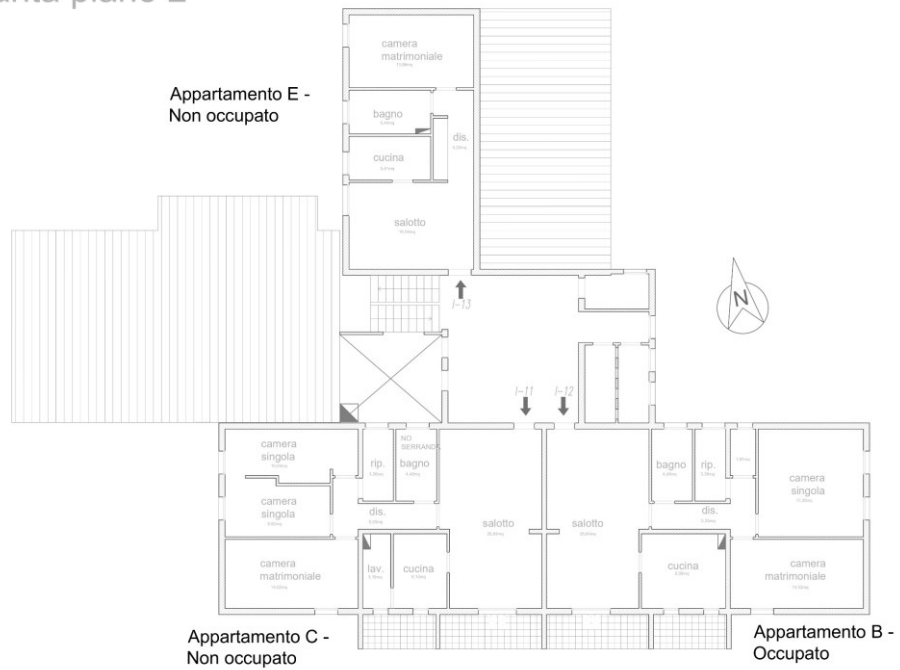


Figura 6 - Pianta piano 2

## Pianta copertura

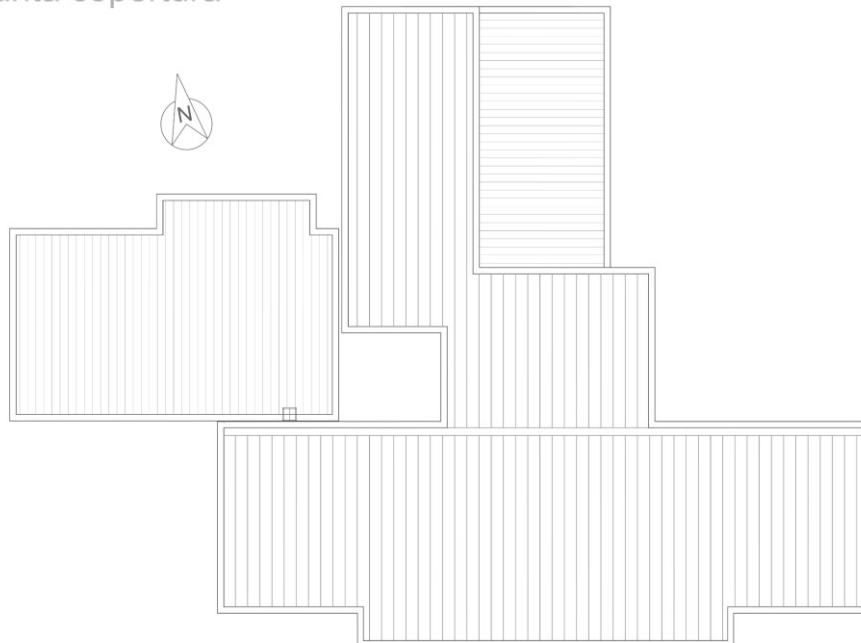


Figura 7 - Pianta piano copertura



Figura 8 - Prospetti Nord e Sud

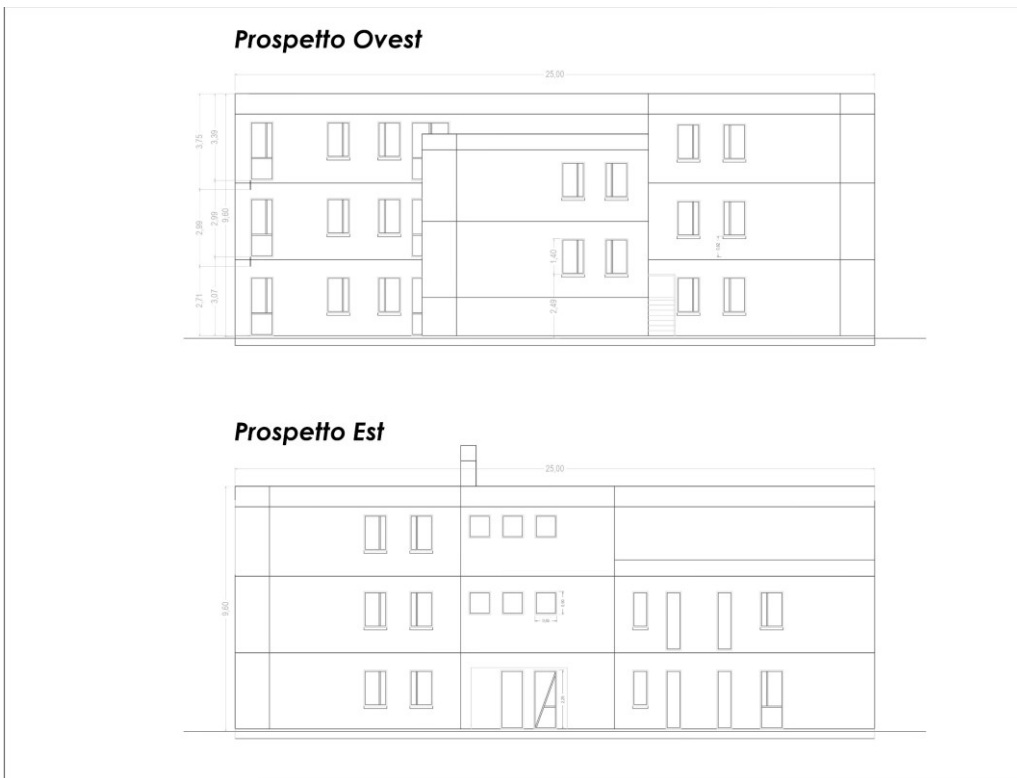


Figura 9 - Prospetti Ovest ed Est

### 5.1.3 Stato di fatto

L'edificio caso studio è dotato di tre tipologie di impianti principali:

- Per il riscaldamento è presente una caldaia a biomassa centralizzata da 100 kW;
- Per il raffrescamento sono presenti delle pompe di calore aria-aria da 3 kW per ogni appartamento;
- Per l'acqua calda sanitaria sono presenti dei bollitori elettrici da 1,5 kW con accumulo da 80L per ogni appartamento.

Per le strutture opache è stato possibile distinguere le seguenti tipologie:

- La parete esterna (M1) è costituita da pannelli in calcestruzzo con 5 cm di polistirene all'interno.

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
M1	Parete esterna - 24 cm	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
Stratigrafia							
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Intonaco di cemento e sabbia	15	1	0,015	1800	1	10
2	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	130	1,91	0,068	2400	1	96
3	Polistirene espanso sint. in lastre da blocchi	50	0,042	1,19	30	1,45	60
4	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	30	2,15	0,014	2400	1	96
5	Intonaco di cemento e sabbia	15	1	0,015	1800	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,073	-	-	-
Totale		240					
Trasmittanza termica		0,664	W/m2K				
Spessore		240	mm				
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)		-5	°C				
Permeanza		10,72	10-12kg/sm2Pa				
Massa superficiale (con intonaci)		440	kg/m2				
Massa superficiale (senza intonaci)		386	kg/m2				
Trasmittanza periodica		0,153	W/m2K				
Fattore attenuazione		0,231	-				
Sfasamento onda termica		-8,3	h				

Figura 10 – Caratteristiche tecniche della parete esterna (M1)

- La parete di separazione tra i vari alloggi (M2) è costituita da pannelli in calcestruzzo con 5 cm di polistirene all'interno.
- La parete tra gli alloggi e il vano scala (M4) è costituita da pannelli in calcestruzzo con 5 cm di polistirene all'interno.



M2/ M4	Parete interna - 24 cm - Alloggi e scale	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
Stratigrafia							
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Intonaco di cemento e sabbia	15	1	0,015	1800	1	10
2	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	130	1,91	0,068	2400	1	96
3	Polistirene espanso sint. in lastre da blocchi	50	0,042	1,19	30	1,45	60
4	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	30	2,15	0,014	2400	1	96
5	Intonaco di cemento e sabbia	15	1	0,015	1800	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,13	-	-	-
Totale		240					
Trasmittanza termica		0,64	W/m2K				
Spessore		240	mm				
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)		20	°C				
Permeanza		10,72	10-12kg/sm2Pa				
Massa superficiale (con intonaci)		440	kg/m2				
Massa superficiale (senza intonaci)		386	kg/m2				
Trasmittanza periodica		0,125	W/m2K				
Fattore attenuazione		0,195	-				
Sfasamento onda termica		-9,1	h				

Figura 11 – Caratteristiche tecniche delle pareti divisorie (M2 e M4)

- La parete di separazione delle stanze interne all'appartamento (M3) è costituita da mattoni semipieni di spessore 12 cm intonacati.

M3	Parete interna - 15 cm	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
Stratigrafia							
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Intonaco di calce e sabbia	15	0,8	0,019	1600	1	10
2	Mattoni semipieno	120	0,632	0,19	1508	0,84	9
3	Intonaco di calce e sabbia	15	0,8	0,019	1600	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,13	-	-	-
Totale		150					
Trasmittanza termica		2,052	W/m2K				
Spessore		150	mm				
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)		220	°C				
Permeanza		144,9	10-12kg/sm2Pa				
Massa superficiale (con intonaci)		229	kg/m2				
Massa superficiale (senza intonaci)		181	kg/m2				
Trasmittanza periodica		1,279	W/m2K				
Fattore attenuazione		0,623	-				
Sfasamento onda termica		-5	h				

Figura 12 – Caratteristiche tecniche delle pareti di separazione (M3)

- La porta di ingresso (M5) è costituita da due strati di legno di abete da 15 mm con interposta un'intercapedine di 20mm.

M5	Porta interna	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
Stratigrafia							
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	15	0,12	0,125	450	2,7	643
2	Intercapedine non ventilata Av<500 mm <sup>2</sup> /m	20	0,114	0,175	-	-	-
3	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	15	0,12	0,125	450	2,7	643
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,13	-	-	-
Totale		50					
Trasmittanza termica		1,46	W/m2K				
Spessore		50	mm				
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)		6	°C				
Permeanza		10,36	10-12kg/sm2Pa				
Massa superficiale (con intonaci)		14	kg/m2				
Massa superficiale (senza intonaci)		14	kg/m2				
Trasmittanza periodica		1,417	W/m2K				
Fattore attenuazione		0,971	-				
Sfasamento onda termica		-1,4	h				

Figura 13 – Caratteristiche tecniche delle porte di ingresso (M5)

Per i solai è stato possibile distinguere le seguenti tipologie:

- Il pavimento di interpiano (P1) è costituito da un solaio “Predalles” con spessore pari a 24cm con un sottofondo di cemento e piastrelle in ceramica utilizzate come finitura.

P1	Pavimento interpiano	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
Stratigrafia							
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,17	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10	1,3	0,008	2300	0,84	1E+07
2	Sottofondo di cemento magro	100	0,9	0,111	1800	0,88	30
3	Solaio tipo predalles	240	0,857	0,28	1479	0,84	9
4	Intonaco di cemento e sabbia	10	1	0,01	1800	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,17	-	-	-
Totale		360					
Trasmittanza termica		1,335	W/m2K				
Spessore		360	mm				
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)		20	°C				
Permeanza		0,002	10-12kg/sm2Pa				
Massa superficiale (con intonaci)		576	kg/m2				
Massa superficiale (senza intonaci)		558	kg/m2				
Trasmittanza periodica		0,217	W/m2K				
Fattore attenuazione		0,162	-				
Sfasamento onda termica		-11,2	h				

Figura 14 – Caratteristiche tecniche del pavimento di interpiano (P1)

- Il pavimento sopra al vespaio (P2) è costituito da un solaio “Predalles” con spessore pari a 24cm con un sottofondo di cemento e piastrelle in ceramica utilizzate come finitura.

P2	Pavimento sopra vespaio	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
Stratigrafia							
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,17	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10	1,3	0,008	2300	0,84	1E+07
2	Sottofondo di cemento magro	100	0,9	0,111	1800	0,88	30
3	Solaio tipo predalles	240	0,857	0,28	1479	0,84	9
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,17	-	-	-
Totale		350					
Trasmittanza termica		1,353	W/m2K				
Spessore		350	mm				
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)		8	°C				
Permeanza		0,002	10-12kg/sm2Pa				
Massa superficiale (con intonaci)		558	kg/m2				
Massa superficiale (senza intonaci)		558	kg/m2				
Trasmittanza periodica		0,235	W/m2K				
Fattore attenuazione		0,174	-				
Sfasamento onda termica		-10,8	h				

Figura 15 - Caratteristiche tecniche del pavimento sopra al vespaio (P2)

- La copertura (P3) è costituita da un solaio “predalles” con spessore pari a 24cm, 13 cm di isolamento, 5cm di calcestruzzo, impermeabilizzazione con membrana in PVC e 3 cm di ghiaia.

P3	Copertura	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
Stratigrafia							
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,073	-	-	-
1	Acciaio inossidabile, austenitico	3	17	0	7900	0,5	1E+07
2	Strato d'aria	100					
3	Strato isolante	30					
4	Ghiaia	30					
5	Impermeabilizzazione con bitume	5	0,17	0,029	1200	1	50000
6	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	50	2,15	0,023	2400	1	96
7	Strato isolante	140					
8	Solaio tipo predalles	160	0,857	0,28	1479	0,84	9
9	Intonaco di cemento e sabbia	15	1	0,015	1800	1	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,1	-	-	-
Totale		533					
Trasmittanza termica		0,2	W/m2K				
Spessore		533	mm				
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)		-5	°C				
Permeanza		0,007	10-12kg/sm2Pa				
Massa superficiale (con intonaci)			kg/m2				
Massa superficiale (senza intonaci)			kg/m2				
Trasmittanza periodica			W/m2K				
Fattore attenuazione			-				
Sfasamento onda termica			h				

Figura 16 - Caratteristiche tecniche della copertura (P3)

Per le finestre e porte-finestre è stato possibile distinguere le seguenti tipologie:

COD	Tipologia	Descrizione	Vetro	Altezza H [cm]	Lunghezza L [cm]	Trasmittanza termica Uw [W/mq*K]	Trasmittanza termica Ug [W/mq*K]
W1	Singolo	90x90	Doppio	90	90	2,156	2,755
W2	Singolo	90x140	Doppio	90	140	2,793	2,755
W3	Singolo	60x230	Doppio	60	230	2,825	2,755
W4	Singolo	90x230	Doppio	90	230	2,819	2,755
W5	Singolo	120x230	Doppio	120	230	2,876	2,755
W6	Singolo	60x140	Doppio	60	140	2,801	2,755
W7	Singolo	150x230	Doppio	150	230	2,91	2,755
W8	Singolo	80x230	Doppio	80	230	2,821	2,755
W9	Singolo	60x60	Doppio	60	60	2,792	2,755

Figura 17 - Caratteristiche tecniche degli infissi

Il pacchetto vetrato utilizzato è il medesimo per tutti gli infissi.

Si riportano di seguito, a titolo d'esempio, le caratteristiche della porta-finestra W5.

W5	Finestra 120/230			
Caratteristiche del serramento				
	Tipologia di serramento	Singolo		
	Classe di permeabilità	Senza classificazione		
	Trasmittanza termica	Uw	2,819	W/m2K
	Trasmittanza solo vetro	Ug	2,755	W/m2K
Dati per il calcolo degli apporti solari				
	Emissività	$\epsilon$	0,837	-
	Fattore tendaggi (invernale)	fc inv	0,8	-
	Fattore tendaggi (estivo)	fc est	0,8	-
	Fattore di trasmittanza solare	ggl,n	0,75	-
Caratteristiche delle chiusure oscuranti				
	Resistenza termica chiusure		0	m2K/W
	f shut		0,6	-
Dimensioni del serramento				
	Larghezza		90	cm
	Altezza		230	cm
Caratteristiche del telaio				
	Trasmittanza termica del telaio	Uf	2,2	W/m2K
	K distanziale	Kd	0,06	W/mK
	Area totale	Aw	2,07	m2
	Area vetro	Ag	1,539	m2
	Area telaio	Af	0,531	m2
	Fattore di forma	Ff	0,74	-
	Perimetro vetro	Lg	7,12	m
	Perimetro telaio	Lf	6,4	m
Stratigrafia del pacchetto vetrato				
	Descrizione strato	s	$\lambda$	R
	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13
	Primo vetro	3	1	0,003
	Intercapedine	-	-	0,154
	Secondo vetro	3	1	0,003
	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,073
Caratteristiche del modulo				
	Trasmittanza termica del modulo	U	3,769	W/m2K
Cassonetto				
	Struttura opaca associata	M5	Cassonetto	
	Trasmittanza termica	U	4,925	W/m2K
	Altezza	Hcass	32	cm
	Profondità	Pcass	20	cm
	Area frontale		0,29	m2
Ponte termico del serramento				
	Ponte termico associato	Z4	W - Parete - Telaio	
	Trasmittanza termica lineica	$\Psi$	0,117	W/mK
	Lunghezza perimetrale		6,4	m

Figura 18 - Caratteristiche tecniche della portafinestra W5

## 5.2 Stato di progetto 1

Lo stato di progetto 1 prevede i seguenti interventi di riqualificazione:

- Installazione di un cappotto esterno sulle pareti esterne (M1).

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
M1	Parete esterna - 24 cm	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
Stratigrafia							
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Intonaco di gesso	10	0,4	0,025	1000	1	10
2	Muratura in laterizio pareti esterne (esistente) (um. 1,5%)	220	0,68	0,324	1600	1	7
3	Polistirene espanso sinterizzato (alla grafite)	140	0,031	4,516	20	1,45	60
4	Intonaco di gesso	10	0,4	0,025	1000	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,073	-	-	-
Totale		380					
Trasmittanza termica		0,196	W/m2K				
Spessore		380	mm				
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)		-5	°C				
Permeanza		19,72	10-12kg/sm2Pa				
Massa superficiale (con intonaci)		375	kg/m2				
Massa superficiale (senza intonaci)		355	kg/m2				
Trasmittanza periodica		0,024	W/m2K				
Fattore attenuazione		0,123	-				
Sfasamento onda termica		-10,8	h				

Figura 19 - Caratteristiche tecniche del cappotto esterno (M1)

- Installazione di nuove porte di ingresso per tutti gli appartamenti.

M5	Porta interna	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
Stratigrafia							
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	15	0,12	0,125	450	2,7	643
2	Intercapedine non ventilata Av<500 mm <sup>2</sup> /m	20	0,114	0,175	-	-	-
3	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	15	0,12	0,125	450	2,7	643
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,13	-	-	-
Totale		50					
Trasmittanza termica		1,2	W/m2K				
Spessore		50	mm				
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)		6	°C				
Permeanza		10,36	10-12kg/sm2Pa				
Massa superficiale (con intonaci)		14	kg/m2				
Massa superficiale (senza intonaci)		14	kg/m2				
Trasmittanza periodica		1,417	W/m2K				
Fattore attenuazione		0,971	-				
Sfasamento onda termica		-1,4	h				

Figura 20 - Caratteristiche tecniche delle nuove porte di ingresso (M5)

- **Installazione di nuovi infissi (finestre e porte finestra).**

COD	Tipologia	Descrizione	Vetro	Altezza H [cm]	Lunghezza L [cm]	Trasmittanza termica Uw [W/mq*K]	Trasmittanza termica Ug [W/mq*K]
W1	Singolo	90x90	Doppio	90	90	1,109	1,233
W2	Singolo	90x140	Doppio	90	140	1,112	1,233
W3	Singolo	60x230	Doppio	60	230	1,106	1,233
W4	Singolo	90x230	Doppio	90	230	1,109	1,233
W5	Singolo	120x230	Doppio	120	230	1,114	1,233
W6	Singolo	60x140	Doppio	60	140	1,103	1,233
W7	Singolo	150x230	Doppio	150	230	1,114	1,233
W8	Singolo	80x230	Doppio	80	230	1,108	1,233
W9	Singolo	60x60	Doppio	60	60	1,098	1,233

*Figura 21 - Caratteristiche tecniche dei nuovi infissi*

Il pacchetto vetrato utilizzato è il medesimo per tutte le finestre.

Si riportano di seguito, a titolo d'esempio, le caratteristiche della finestra W5.

W5	Finestra 120x230			
Caratteristiche del serramento				
	Tipologia di serramento	Singolo		
	Classe di permeabilità	Classe 2 secondo Norma UNI		
	Trasmittanza termica	U <sub>w</sub>	1,114	W/m <sup>2</sup> K
	Trasmittanza solo vetro	U <sub>g</sub>	1,233	W/m <sup>2</sup> K
Dati per il calcolo degli apporti solari				
	Emissività	ε	0,837	-
	Fattore tendaggi (invernale)	f <sub>c inv</sub>	1	-
	Fattore tendaggi (estivo)	f <sub>c est</sub>	1	-
	Fattore di trasmittanza solare	g <sub>gl,n</sub>	0,55	-
	Fattore trasmissione solare totale	g <sub>gl+sh</sub>	0,54	-
Caratteristiche delle chiusure oscuranti				
	Resistenza termica chiusure		0,16	m <sup>2</sup> K/W
	f <sub>shut</sub>		0,6	-
Dimensioni del serramento				
	Larghezza		120	cm
	Altezza		230	cm
Caratteristiche del telaio				
	Trasmittanza termica del telaio	U <sub>f</sub>	1	W/m <sup>2</sup> K
	K distanziale	K <sub>d</sub>	0,01	W/mK
	Area totale	A <sub>w</sub>	2,76	m <sup>2</sup>
	Area vetro	A <sub>g</sub>	2,257	m <sup>2</sup>
	Area telaio	A <sub>f</sub>	0,503	m <sup>2</sup>
	Fattore di forma	F <sub>f</sub>	0,82	-
	Perimetro vetro	L <sub>g</sub>	12,8	m
	Perimetro telaio	L <sub>f</sub>	7	m
Stratigrafia del pacchetto vetrato				
	Descrizione strato	s	λ	R
	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13
	Primo vetro	4	1	0,004
	Intercapedine	-	-	0,6
	Secondo vetro	4	1	0,004
	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,073
Caratteristiche del modulo				
	Trasmittanza termica del modulo	U	1,322	W/m <sup>2</sup> K
Ponte termico del serramento				
	Ponte termico associato	Z <sub>7</sub>	W - Parete - Telaio	
	Trasmittanza termica lineica	ψ	0,082	W/mK
	Lunghezza perimetrale		5,8	m
	Ponte termico associato	Z <sub>7</sub>	W - Parete - Telaio	
	Trasmittanza termica lineica	ψ	0,082	W/mK
	Lunghezza perimetrale		1,2	m

Figura 22 - Caratteristiche tecniche della portafinestra W5



### 5.3 Stato di progetto 2

Lo stato di progetto 2 prevede la realizzazione di una nuova copertura ventilata e traspirante (VPR) a falde con inclinazione pari al 20°, con tegole HEROTILES (HBR) di tipo Marsigliese, sopra alla copertura esistente.

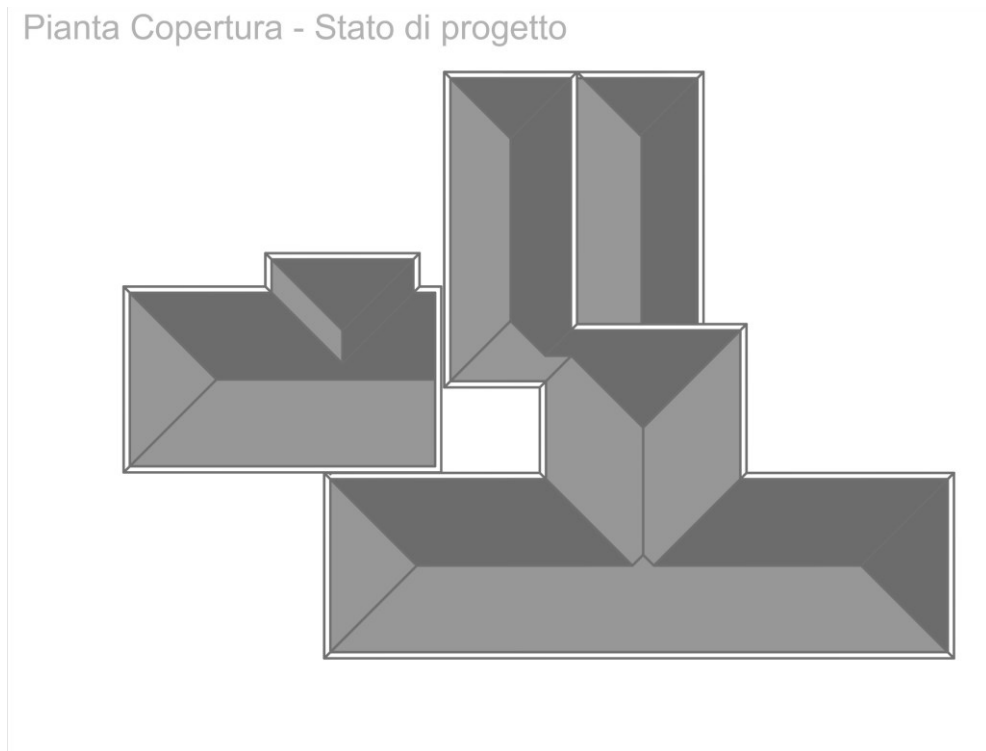


Figura 23 - Pianta della copertura nello stato di progetto 2

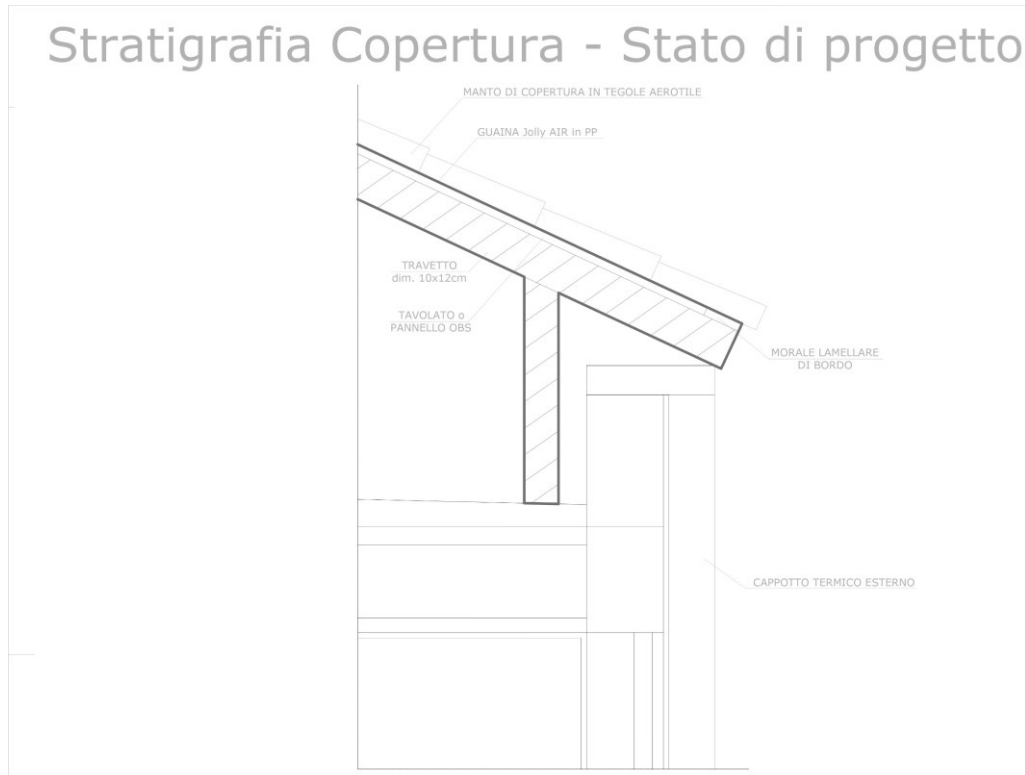


*Figura 24 - Prospetti Nord e Sud nello stato di progetto 2*



*Figura 25 - Prospetti Ovest ed Est nello stato di progetto 2*

Di seguito si riporta la sezione caratteristica della copertura.



## 5.4 Sistema di monitoraggio

Per quanto il sistema di monitoraggio BEMS, l'edificio numero 2 è stato monitorato attraverso i seguenti sensori:

- Il data-logger SI-Lastem E-log 515.1 ha permesso di acquisire, memorizzare e visualizzare i dati relativi ai sensori.
- “LoRaWAN weather station” o stazione meteorologica, è stata posizionata in copertura e ha permesso di ricavare i dati relativi a: pressione atmosferica; temperatura e umidità dell'aria; velocità, velocità media a 10m e direzione del vento; precipitazioni istantanee e giornaliere; UV; radiazione solare diretta e globale.
- “hvac-meter” hanno permesso di rilevare il consumo dovuto al condizionatore;
- “Elsys ERS C02” sono stati utilizzati nelle stanze per il monitoraggio di: presenza, umidità relativa, illuminamento, temperatura e Co2;

- “Elsys EMS DOOR” sono stati utilizzati per il monitoraggio dell’apertura e chiusura delle finestre e portefinestre.

### 5.4.1 Piante dei sensori

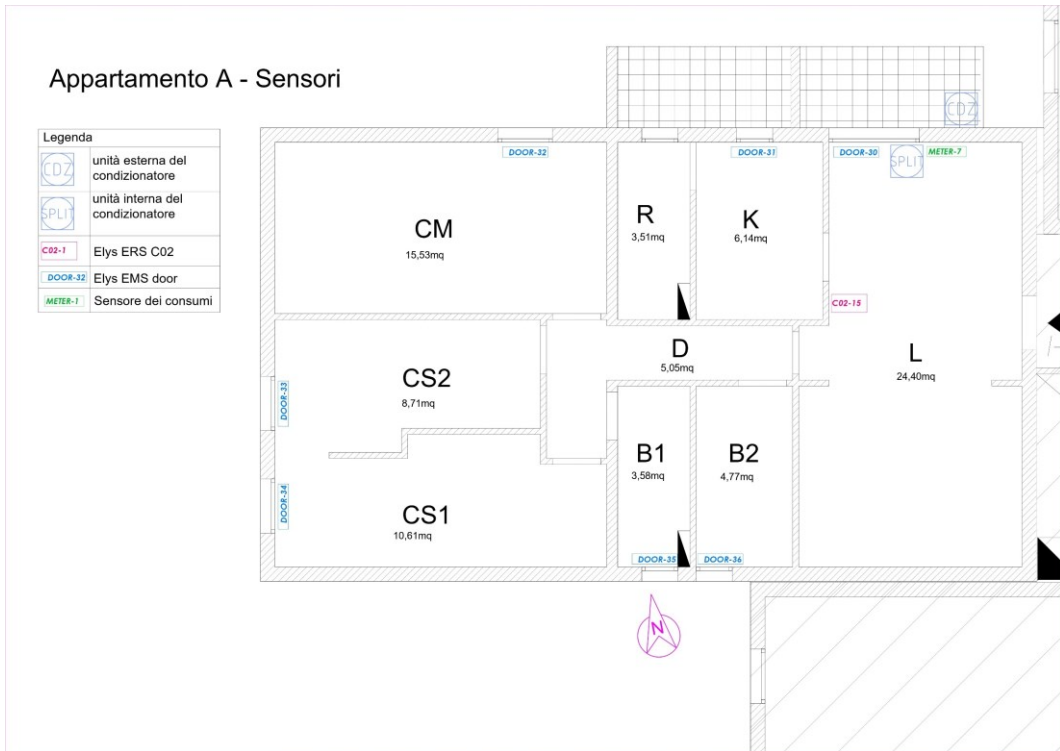


Figura 27 - Pianta dei sensori - Appartamento A

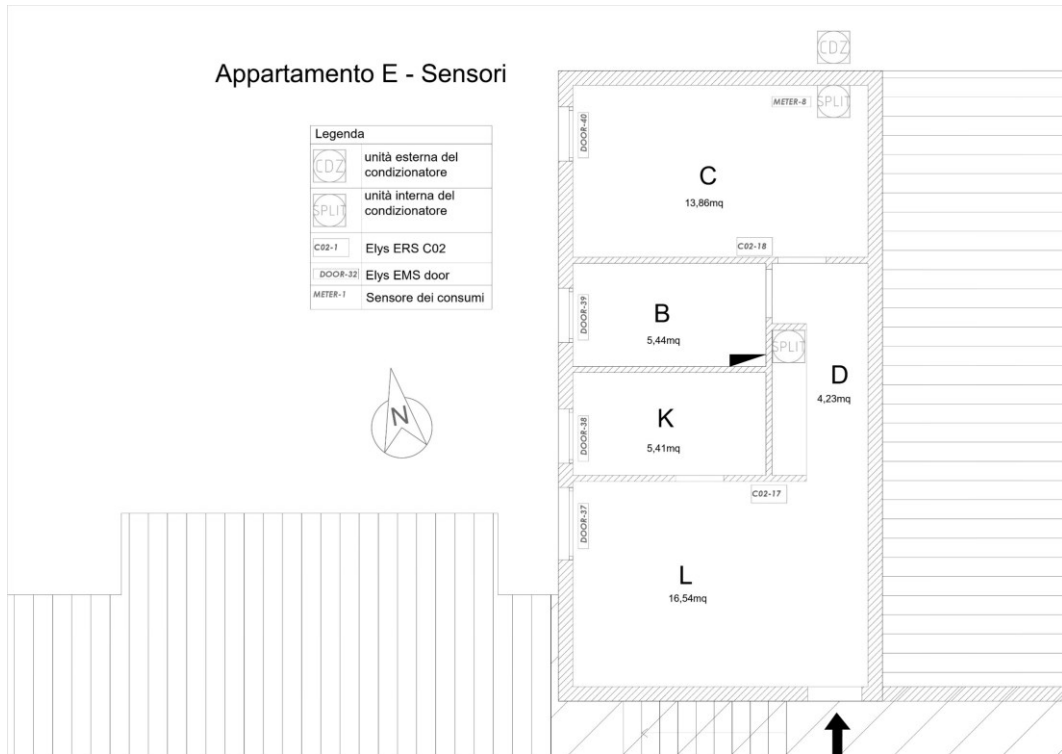


Figura 28 - Pianta dei sensori - Appartamento E

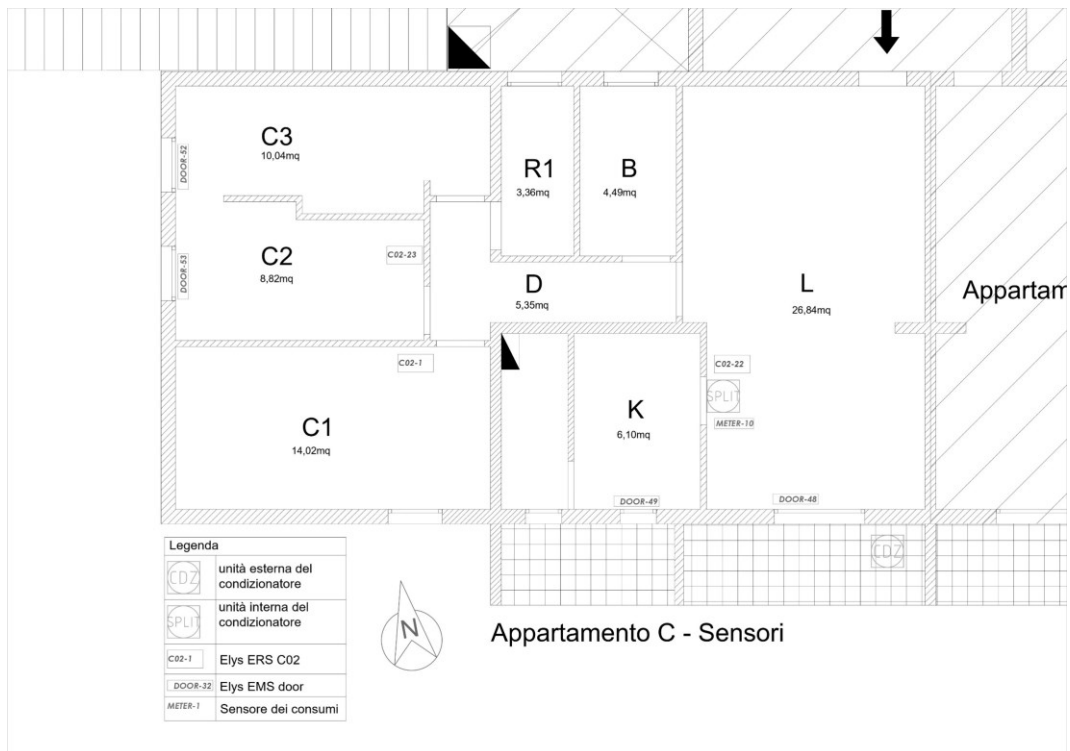


Figura 29 - Pianta dei sensori - Appartamento C

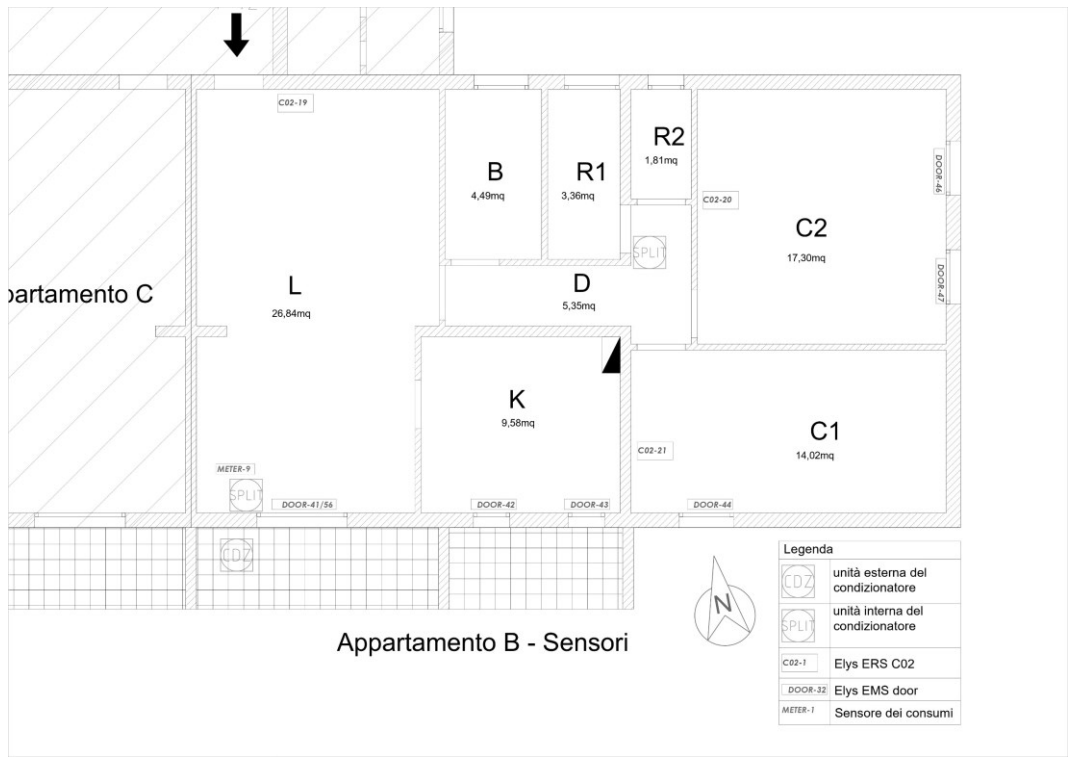


Figura 30 - Pianta dei sensori - Appartamento B

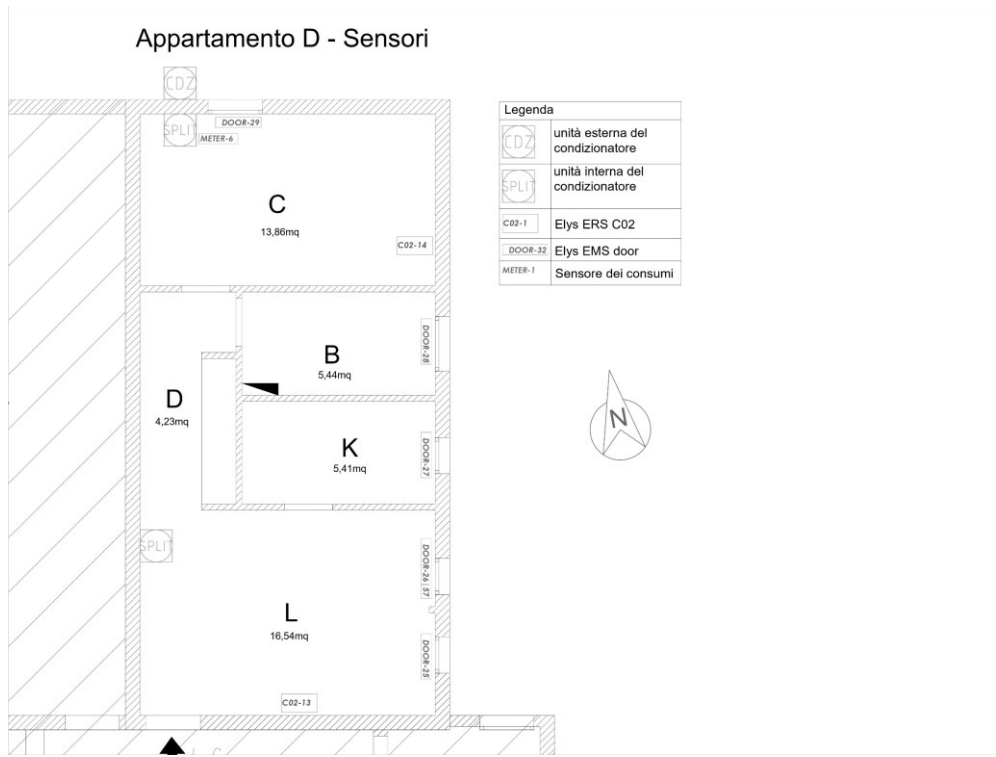


Figura 31 - Pianta dei sensori - Appartamento D

## 5.4.2 Dati dei sensori

Si riportano degli esempi dei dati che è stato possibile ricavare dai sensori.

### Stazione meteorologica (LoRaWAN weather station)

time	atm_pres_sure	outside_temp	wind_speed	wind_speed_avg_10m	wind_direction	humidity	rain_rate	uv	solar_radiation	day_total_rain	day_total_et
12/06/2022 @ 00:00:00	1012,92	24,11	0	0	135	55	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 00:10	1012,89	24	0	0	141	55	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 00:20	1012,92	23,67	0	0	173	56	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 00:30	1013,09	23,17	0	0	192	58	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 00:40	1013,09	22,94	0,45	0	190	58	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 00:50	1013,06	23,06	0	0	182	59	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 01:00	1013,19	22,89	0	0	182	59	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 01:10	1013,13	22,44	0,45	0	184	61	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 01:20	1013,09	22,17	0,45	0,45	178	62	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 01:30	1013,23	22,28	0,45	0,45	174	62	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 01:40	1013,19	22,17	0,45	0,45	187	63	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 01:50	1013,33	21,89	0,89	0,45	196	64	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 02:00	1013,4	21,5	1,34	0,89	208	66	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 02:10	1013,43	21,335	0,895	0,89	203	66,5	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 02:20	1013,46	21,17	0,45	0,89	198	67	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 02:30	1013,53	21,17	1,34	0,89	207	67	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 02:40	1013,43	21,06	0,89	0,89	202	67	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 02:50	1013,5	20,94	0,89	0,89	210	67	0	0	0	0	234,09
12/06/2022 03:00	1013,57	20,78	0,89	0,89	210	68	0	0	0	0	234,09

Figura 32 - Dati acquisiti dalla stazione meteorologica

### Sensore per il monitoraggio dei consumi del condizionatore (hvac-meter)

line_frequency	line_voltage	instant_power	total_consumed	time	25a10m06
49,955	228,345	0	231,99	12/06/2022 00:00	
50	229,3	0	231,99	12/06/2022 00:10	
50,01	230,465	0	232	12/06/2022 00:20	
50,005	228,51	0	232	12/06/2022 00:30	
50,005	229,915	0	232	12/06/2022 00:40	
50,01	228,16	0	232	12/06/2022 00:50	
49,925	226,975	0	232	12/06/2022 01:00	
49,995	225,065	0	232	12/06/2022 01:10	
50,025	228,53	0	232	12/06/2022 01:20	
50	227,7	0	232	12/06/2022 01:30	
50,015	228,32	0	232,01	12/06/2022 01:40	
50,03	229,44	0	232,01	12/06/2022 01:50	
49,97	228,72	0	232,01	12/06/2022 02:00	
50	228,45	0	232,01	12/06/2022 02:10	
49,99	226,47	0	232,01	12/06/2022 02:20	
49,995	227,45	0	232,01	12/06/2022 02:30	
50,02	227,425	0	232,01	12/06/2022 02:40	
50,035	228,95	0	232,01	12/06/2022 02:50	
49,98	228,44	0	232,02	12/06/2022 03:00	

Figura 33 - Dati acquisiti dal sensore per il monitoraggio dei consumi

## Sensore per il monitoraggio delle stanze (Elsys ERS C02)

co2	humidity	light	pir_count	emperatur	time	25a10o15
484	50	0	0	25,9	12/06/2022 00:00	
485	50	0	0	25,85	12/06/2022 00:10	
501	50	0	0	25,85	12/06/2022 00:20	
498,5	50	0	0	25,8	12/06/2022 00:30	
485,5	50	0	0	25,75	12/06/2022 00:40	
506	50	0	0	25,7	12/06/2022 00:50	
507	50	0	0	25,65	12/06/2022 01:00	
507	50	0	0	25,6	12/06/2022 01:10	
533	50	0	0	25,5	12/06/2022 01:20	
547,5	50	0	0	25,45	12/06/2022 01:30	
543	50	0	0	25,4	12/06/2022 01:40	
559,5	50,5	0	0	25,4	12/06/2022 01:50	
510	50,5	0	0	25,3	12/06/2022 02:00	
503,5	51	0	0	25,25	12/06/2022 02:10	
489	51	0	0	25,2	12/06/2022 02:20	
493,5	51	0	0	25,2	12/06/2022 02:30	
486,5	51	0	0	25,2	12/06/2022 02:40	
487,5	51	0	0	25,1	12/06/2022 02:50	
495	51	0	0	25,1	12/06/2022 03:00	

Figura 34 - Dati acquisiti dal sensore per il monitoraggio delle stanze



## Sensore per il monitoraggio dell'apertura delle finestre (Elsys EMS D00R)

total_door	battery_level	is_door_clos	time	25bb0p45
76	3633	0	12/06/2022 00:40	
76	3633	0	12/06/2022 01:20	
76	3633	0	12/06/2022 02:30	
76	3633	0	12/06/2022 03:40	
76	3633	0	12/06/2022 04:20	
76	3633	0	12/06/2022 05:30	
76	3633	0	12/06/2022 06:40	
76	3633	0	12/06/2022 06:50	
76	3633	0	12/06/2022 07:20	
76	3633	0	12/06/2022 08:30	
76	3633	0	12/06/2022 09:40	
76	3633	0	12/06/2022 09:50	
76	3633	0	12/06/2022 10:20	
76	3631	0	12/06/2022 11:30	
76	3633	0	12/06/2022 12:40	
76	3633	0	12/06/2022 13:20	
76	3633	0	12/06/2022 14:30	
76	3633	0	12/06/2022 15:40	
76	3633	0	12/06/2022 16:20	
76	3633	0	12/06/2022 17:30	
76	3633	0	12/06/2022 18:10	
76	3633	0	12/06/2022 19:20	
76	3633	0	12/06/2022 20:30	
76	3633	0	12/06/2022 21:10	
76	3633	0	12/06/2022 22:20	
76	3633	0	12/06/2022 23:30	
76	3633	0	12/06/2022 23:40	
76	3633	0	13/06/2022 00:10	

Figura 35 - Dati acquisiti dal sensore per controllare apertura/chiusura degli infissi

## 6 Metodi

### 6.1 Modellazione con Design Builder

#### 6.1.1 Il software: Design Builder

Design builder è un software di modellazione energetica che permette di modellare e simulare diverse tipologie di edifici ed impianti. Esso consente di:

- generare un'ampia varietà di output e report per comparare le prestazioni nelle diverse fasi di progettazione;
- ottimizzare l'edificio in ogni fase di progetto in base agli obiettivi da ottenere;
- modellare edifici anche complessi dal punto di vista impiantistico e architettonico;
- effettuare simulazioni ai fini di ricerche e studi.

#### 6.1.2 Creazione di un nuovo file

Per creare un nuovo file, è stato necessario aprire DB e premere il comando "crea nuovo file" nella barra degli strumenti.

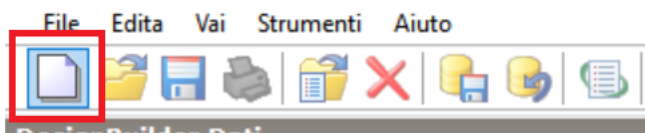


Figura 36 - Creazione di un nuovo file

Successivamente sono stati definiti: il nome del progetto, la località geografica in cui si trova ed la tipologia di analisi da effettuare (di default sarà selezionato energy plus).

Il "location template" ha permesso di definire la località geografica ed i dati climatici per tutti gli edifici del sito.

I dati climatici relativi alla località sono riferiti a rilevamenti metereologici effettuati dalle stazioni di controllo negli aeroporti.

Si consiglia di scegliere la località più vicina a quella di interesse o che abbia condizioni climatiche simili, in quanto per creare una nuova località è necessario conoscere i dati climatici del sito.

Successivamente, è stato necessario confermare la scelta per rendere effettive le modifiche.

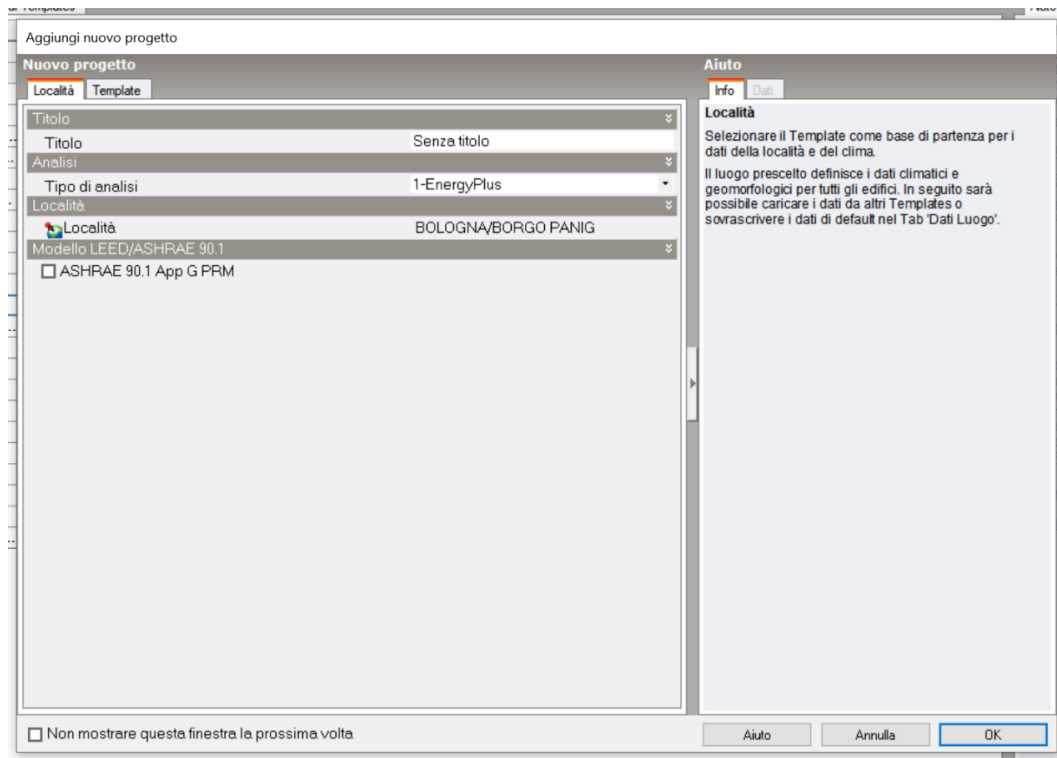


Figura 37 - Schermata DB - Nuovo progetto

### 6.1.3 Creazione di un nuovo edificio/piano

Per creare un piano dell'edificio è stato necessario premere sul comando "aggiungi nuovo edificio" posto nella barra di stato.

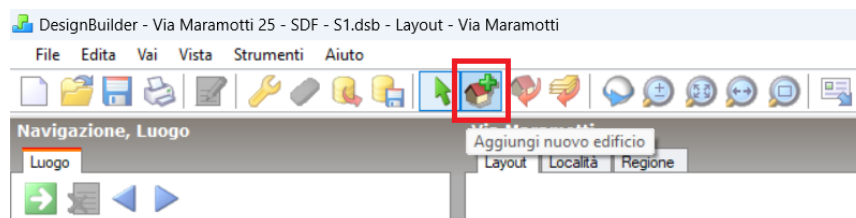


Figura 38 - Schermata DB - Nuovo edificio

Il programma ha richiesto di assegnare un nome e un modello (“template”) all'edificio che si intende realizzare.

È stato fondamentale specificare i “template” di: attività, costruzione, vetro, illuminazione e sistemi HVAC e ACS.

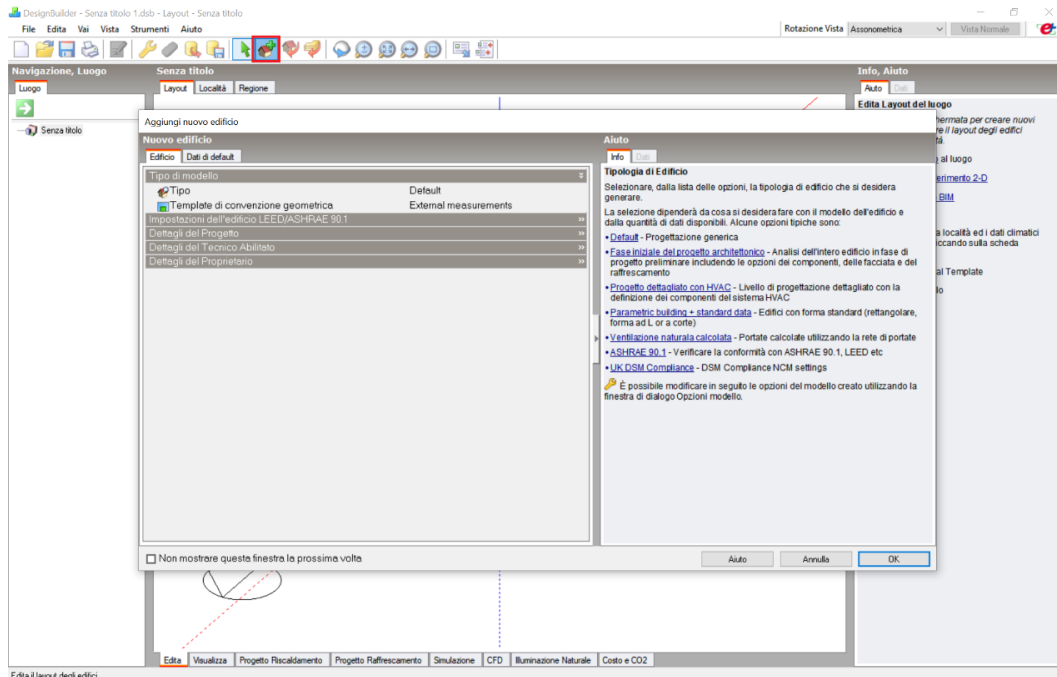


Figura 39 - Schermata DB - Nuovo edificio

#### 6.1.4 Inserimento dxf

Il software permette di inserire varie tipologie di file da utilizzare come riferimento, come PDF, DXF, JPEG.

Se si possiede un file cad, è necessario convertirlo in dxf per poi caricarlo da: file → importa → importa file di riferimento 2D.

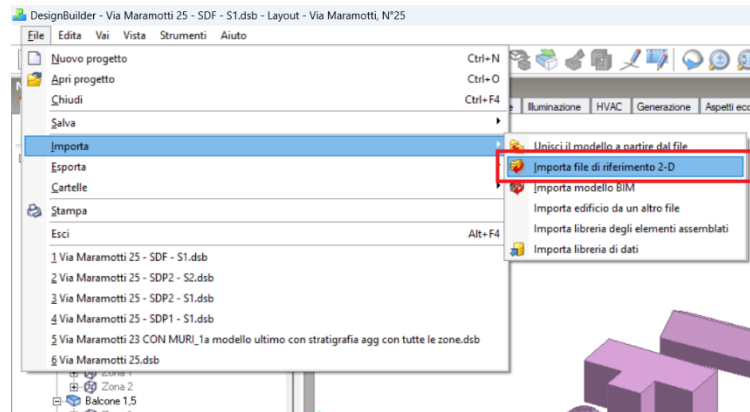


Figura 40 - Schermata DB - Inserimento DXF

Successivamente è stato necessario definire la tipologia e il nome del file e l'unità di misura. Non è possibile caricare un file che risulti essere aperto in un altro programma.

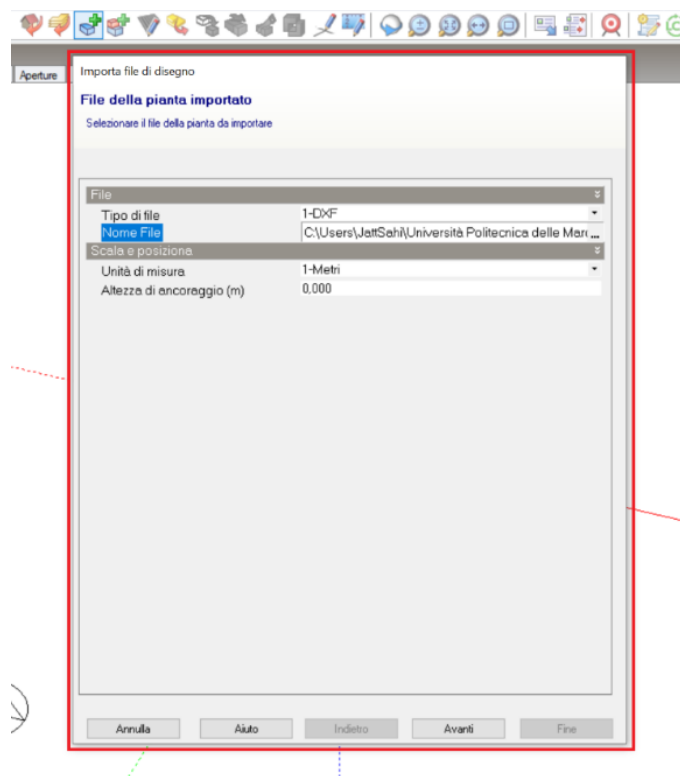


Figura 41 - Schermata DB - Inserimento DXF

### 6.1.5 Inserimento blocco

Per inserire un blocco è stato necessario premere sul comando “aggiungi nuovo blocco”:

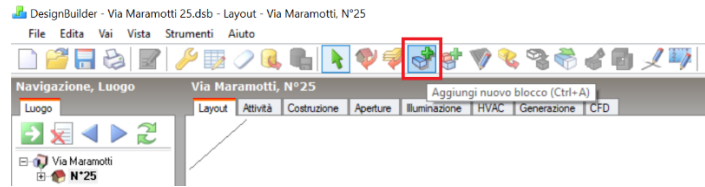


Figura 42 - Schermata DB - Inserimento blocco

Successivamente sono state decise le “opzioni di disegno”, scegliendo:

- Il tipo di blocco: blocco edificio, blocco profilo, blocco componente
- La forma: estruso, pareti inclinate, tetto inclinato, cupola
- L'altezza

Infine, è stato “disegnato” il blocco seguendo la geometria dell'edificio.

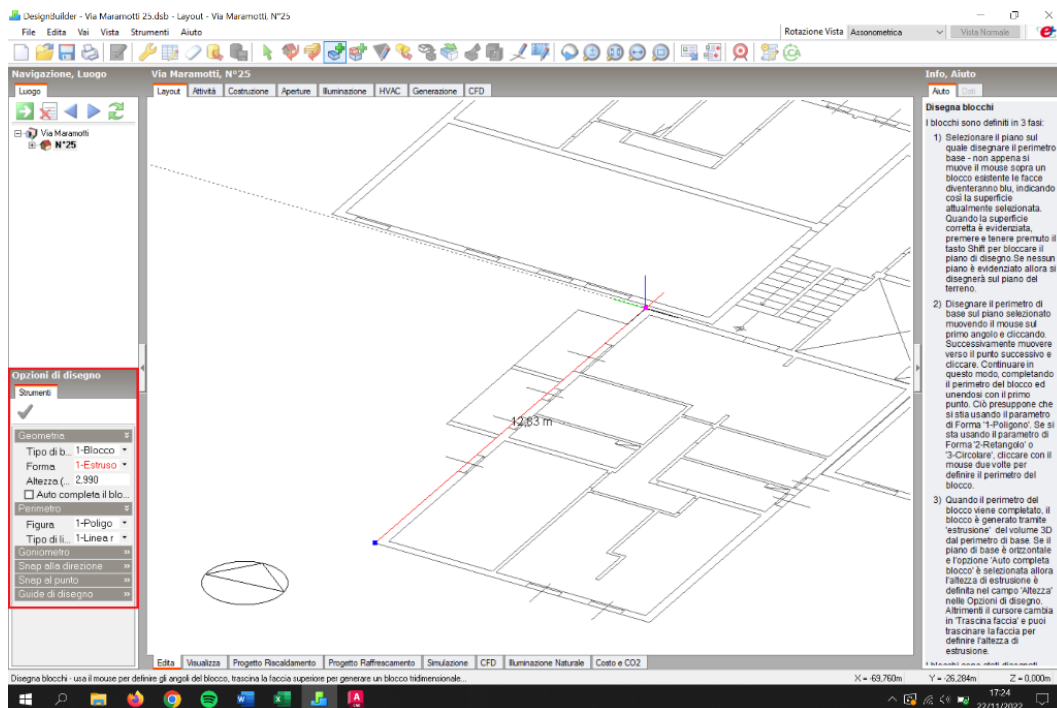


Figura 43 - Schermata DB - Inserimento blocco

## 6.1.6 Modellazione finestre

Per quanto riguarda la modellazione delle finestre, sono state definite le proprietà dei vetri e del telaio della finestra.

Per far ciò, è stato necessario andare in: aperture → finestre esterne

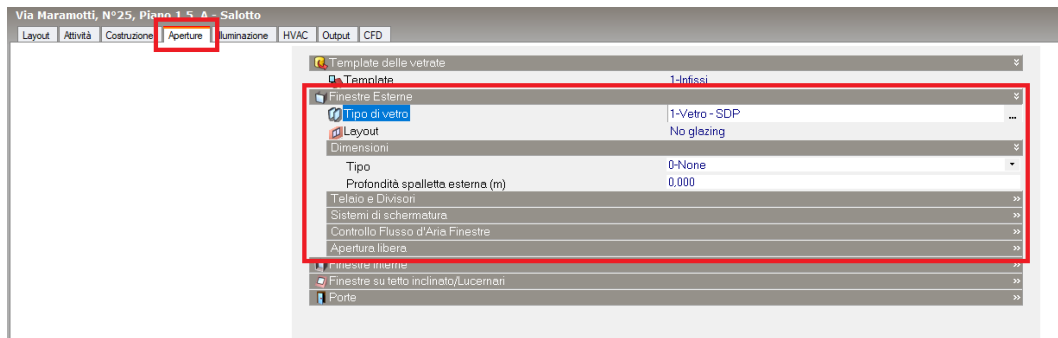


Figura 44 - Schermata DB - Modellazione finestre

Successivamente sono stati definiti:

- Il tipo di vetro
- Il layout
- Le dimensioni
- La tipologia di telaio
- I sistemi di schermatura

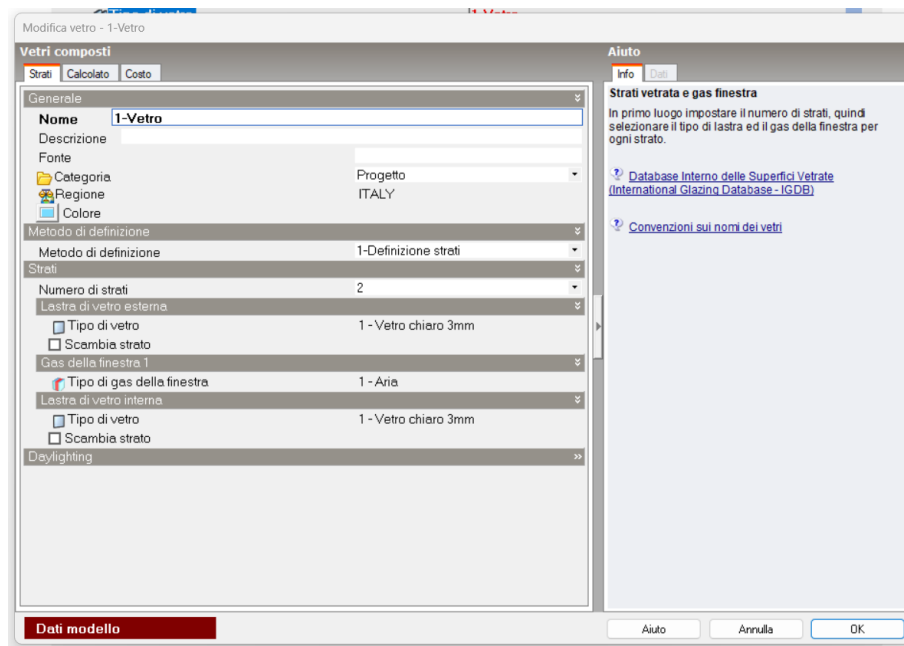


Figura 45 - Schermata DB - Modellazione vetri

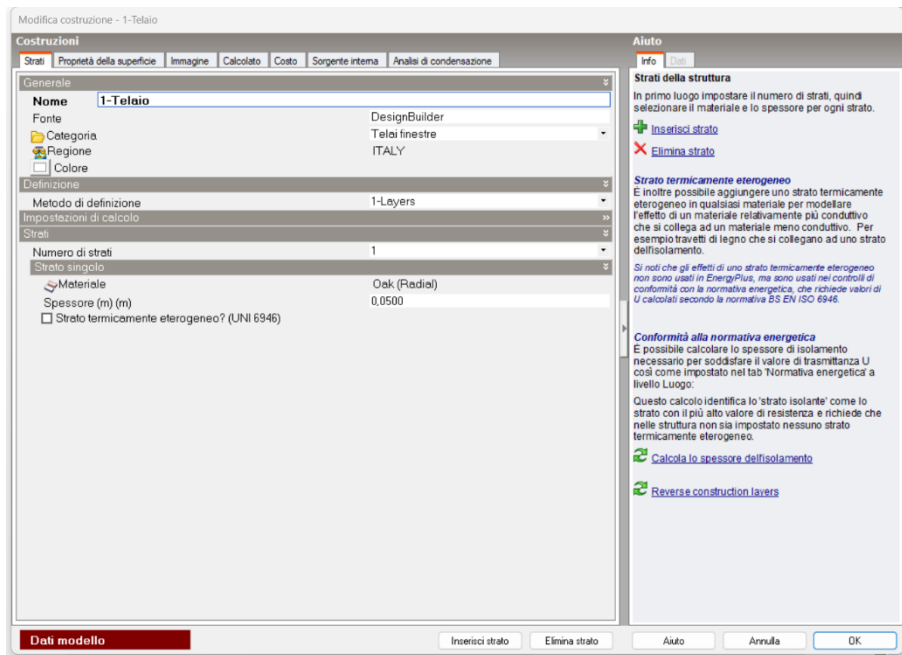


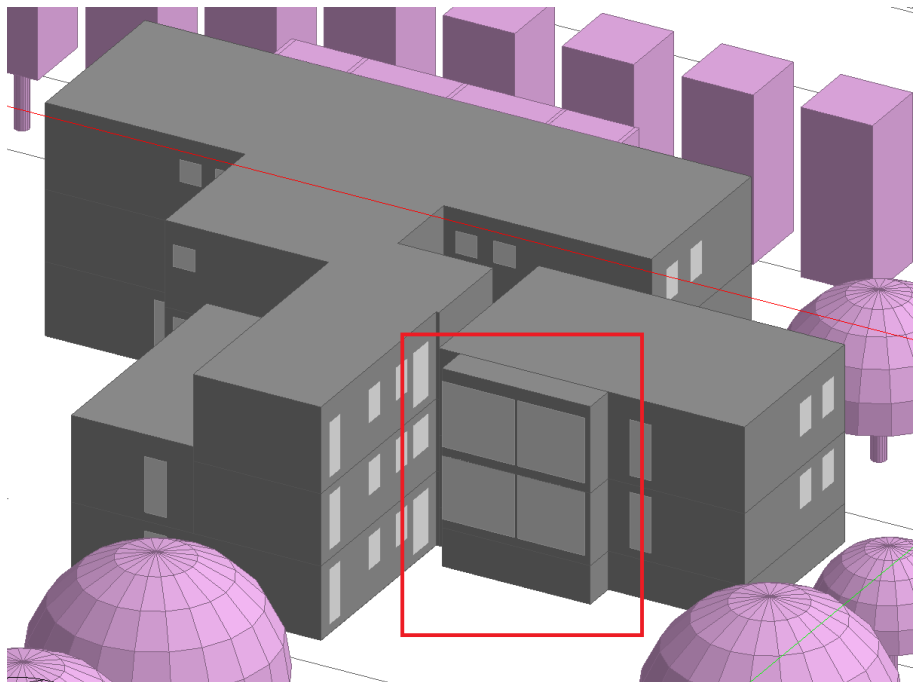
Figura 46 - Schermata DB - Modellazione telaio

## 6.1.7 Modellazione balconi

Per quanto riguarda la modellazione dei balconi, è stato deciso di procedere nel seguente modo:

- per i balconi a Nord è stata utilizzata la categoria “blocco edificio” che crea una zona termica, in quanto nell'edificio reale sono presenti degli oscuramenti e finestre che creano una zona termica assimilabile a “serra”;





*Figura 47 - Schermata DB - Modellazione balconi Nord*

- per i balconi a Sud è stata utilizzata la categoria “elementi” che permette di creare degli oggetti, senza aggiungere locali o zone termiche.



*Figura 48 - Schermata DB - Modellazione balconi SUD*

## 6.1.8 Modellazione Riscaldamento

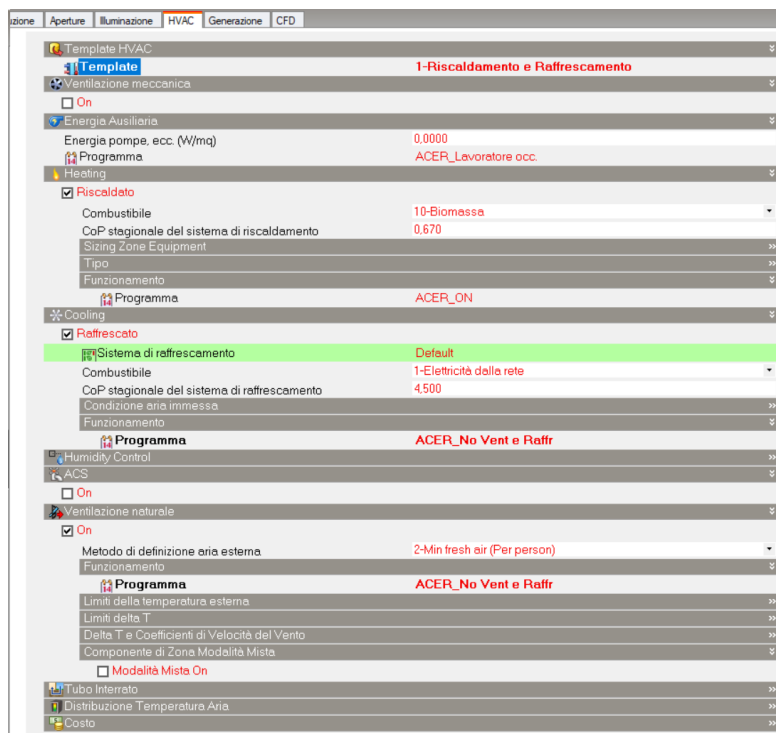
L'edificio è riscaldato in inverno con un impianto di riscaldamento centralizzato costituito da una caldaia a combustibile cippato posta in centrale termica al piano terra: marca KWB modello Multifire USV 100 D.

Il sistema di distribuzione è costituito da montanti non isolati.

Il sistema di emissione è costituito da radiatori senza valvole termostatiche.

Sono quindi stati definiti:

- Tipologia di combustibile: biomassa
- COP stagionale del sistema di riscaldamento
- Temperatura massima dell'aria immessa



Considerato il periodo simulato, l'impianto di riscaldamento è stato considerato spento.

## 6.1.9 Modellazione Raffrescamento

L'edificio è climatizzato in estate attraverso un sistema di condizionamento con COP pari a 4,5.

L'impianto è stato modellato utilizzando l'impostazione "HVAC dettagliato" disponibile nella sezione: Opzioni Modello → HVAC.

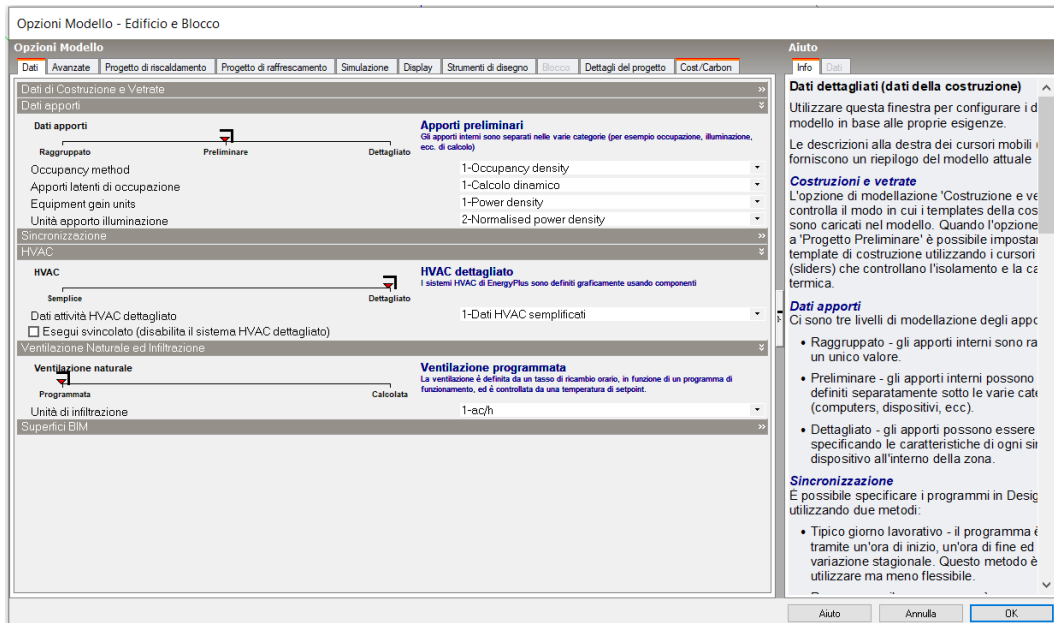


Figura 49 - Schermata DB - Modellazione raffrescamento

Utilizzando questa impostazione è stato possibile modellare l'impianto in maniera dettagliata per ogni zona climatizzata.

Per ciascun appartamento è stato definito un "gruppo di zone" che ha permesso di collegare gli splitter, posizionati nei soggiorni e nei disimpegno o camera da letto, all'unità esterna.

È stato ipotizzato che entrambi gli split funzionino contemporaneamente e come temperatura di set-point è stata utilizzata quella del soggiorno.

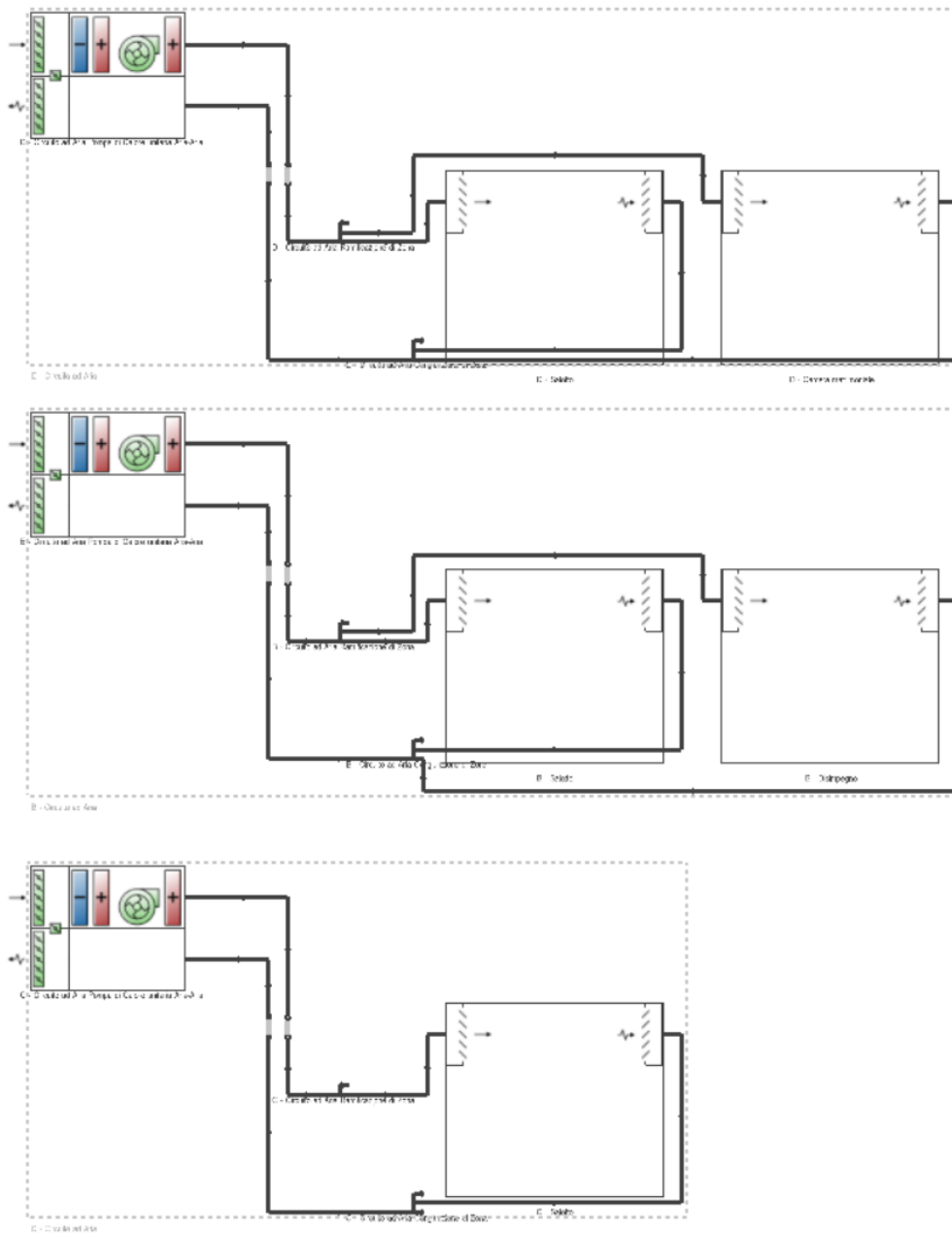


Figura 50 - Schermata DB - Modellazione condizionatori

Per ciascun impianto sono state definiti i profili di utilizzo con i periodi di accensione e spegnimento ricavati dal sensore “meter”.

### 6.1.10 Modellazione ACS

Per ogni appartamento, il sistema di produzione dell’acqua sanitaria è costituito da un boiler elettrico con accumulo di 80L.

Non è stato modellato in design builder.

### 6.1.11 Modellazione edifici e oggetti adiacenti

Ai fini dei calcoli termici, è stato importante considerare gli edifici e la vegetazione adiacente. Essi sono stati modellati attraverso gli elementi “Blocco componente”.

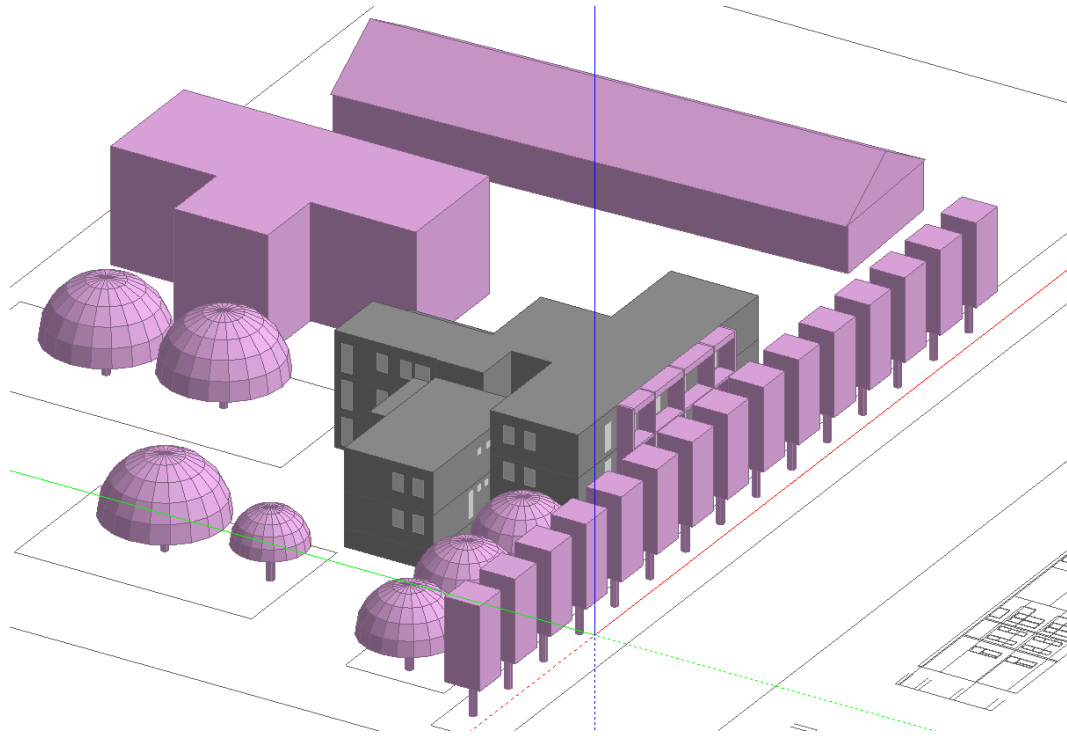


Figura 51 - Schermata DB - Modellazione edifici e oggetti adiacenti

### 6.1.12 Modellazione degli occupanti

Per quanto riguarda gli edifici occupati, attraverso i sensori di presenza posizionati nei soggiorni e nelle camere, è stato possibile ottenere delle schedule di occupazione.

Design Builder ha permesso di definire per ogni stanza il valore di “densità” (persone/mq) e il “programma” con il quale la stanza viene occupata.

Per modificarlo basta: premere sulla zona → sezione attività → Occupazione



Figura 52 - Schermata DB - Modellazione degli occupanti

Per le stanze monitorate, il tasso di occupazione è stato posto pari a 0,018 persone/mq in base ai valori ottenuti da calibrazioni precedenti. Per quanto riguarda le stanze non monitorate, il tasso è stato posto pari a 0.

### 6.1.13 Modellazione dell'apertura e chiusura delle finestre e porte-finestre

L'apertura e chiusura degli infissi è stata ricavata attraverso il sensore Elsys EMS D00R, che ci ha fornito i dati di apertura e chiusura. Da essi è stato possibile ottenere i profili di utilizzo su base oraria.

È stato possibile inserire i dati riguardanti la ventilazione naturale attraverso la sezione: HVAC → Ventilazione naturale.

In questa sezione è possibile controllare il tasso di ventilazione che è stato posto pari a 0,3 vol/h, e il profilo di utilizzo o schedule.

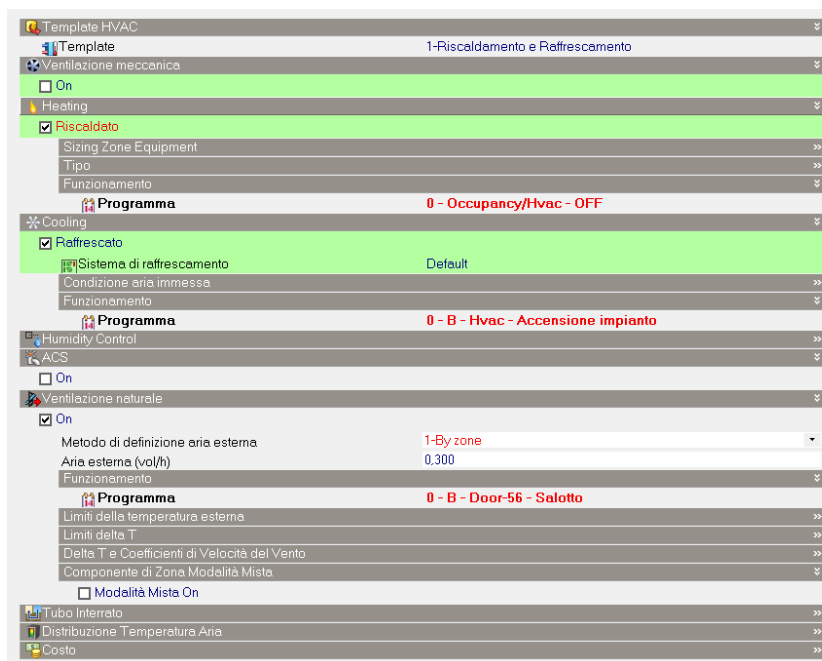


Figura 53 - Schermata DB - Modellazione ventilazione apertura/chiusura infissi

### 6.1.14 Modellazione delle infiltrazioni

Le infiltrazioni possono essere modellate attraverso la sezione: Costruzione → Permeabilità dell'aria.

È stato possibile controllare sia il tasso di ricambi d'aria (vol/h) che la schedule.

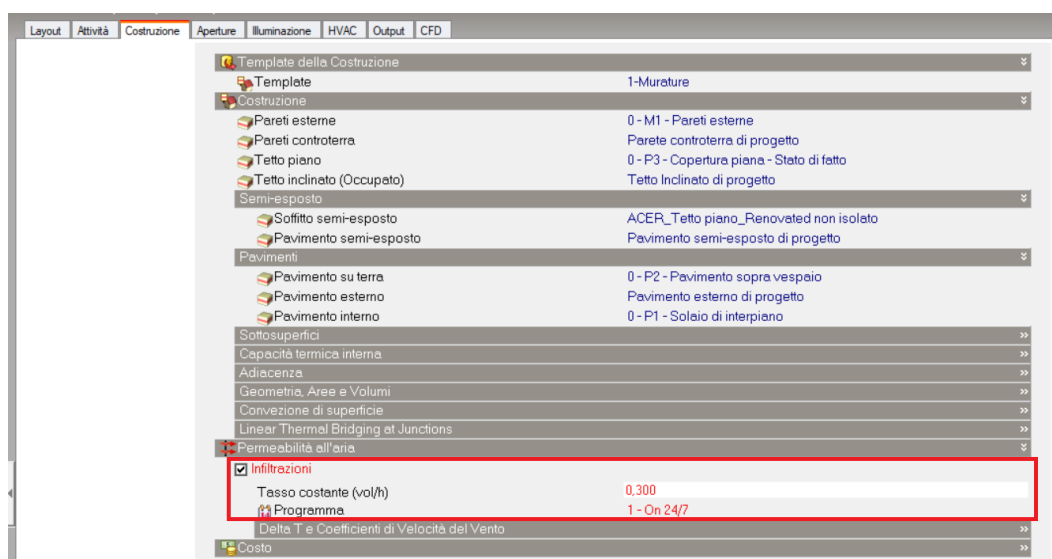


Figura 54 - Schermata DB - Modellazione delle infiltrazioni

## 6.2 Analisi dei dati di monitoraggio e creazione dei profili di utilizzo

I profili di utilizzo sono stati ottenuti con il seguente metodo:

- È stato deciso il periodo studio
- È stato prodotto il file meteo “.epw “
- Sono state prodotti i profili di: accensione e spegnimento degli impianti, occupazione, apertura e chiusura infissi e delle schermature
- I profili sono stati inseriti in Design Builder

### 6.2.1 Periodo studio

Per quanto riguarda il periodo di simulazione sono state considerate 4 settimane di giugno/luglio particolarmente calde e con condizioni termiche esterne più o meno costanti. La scelta di tale periodo deriva dal fatto di avere delle condizioni esterne di temperatura relativamente costanti, ma comunque elevate, al fine di simulare delle condizioni di temperatura severe. I giorni di simulazione scelti sono quelli dal 12/06 al 09/07 compresi. Nella figura 39 è rappresentato l'andamento delle temperature nel periodo di studio.



Figura 55 - Andamento temperatura esterna nel periodo studio



## 6.2.2 Dati climatici

Il sensore “LoRaWAN weather station” ha permesso di monitorare le condizioni esterne con un intervallo di monitoraggio di 10 minuti per tutto il periodo estivo del 2022, ovvero per i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre.

Per produrre il file “.epw” da utilizzare in design builder è stato seguito questo metodo:

- È stato utilizzato come “file di base” quello della stazione meteorologica di Reggio Emilia già presente in design builder.

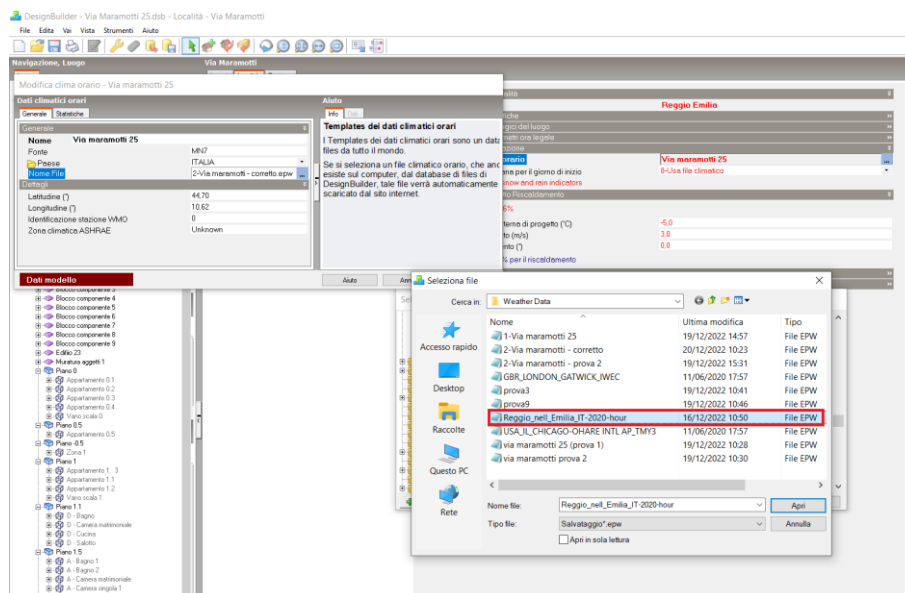


Figura 56 -File base .epw

- Successivamente, in Elements sono stati modificati i valori di: temperatura di bulbo umido, pressione atmosferica, umidità relativa, radiazione solare e velocità del vento. È stato importante rendere coerenti le unità di misura dei valori ricavati dal sensore e quelli da inserire in Elements.

2-Via maramotti - prova 5.epw - Elements

File Edit Tools View Window Help

Site Name: Reggio nell'Emilia  
 Latitude (degrees): 44.7 Longitude (degrees): 10.62  
 Time Zone: 1 Elevation (m): 54

Tools: Offset Scale Normalize Normalize By Month

Variables to Hold Constant: Relative Humidity, Atmospheric Pressure

Date/Time	Dry Bulb Temperature [C]	Wet Bulb Temperature [C]	Atmospheric Pressure [kPa]	Relative Humidity %	Dew Point Temperature [C]	Global Solar [Wh/m2]	Normal Solar [Wh/m2]	Diffuse Solar [Wh/m2]	Wind Speed [m/s]
2020/05/31 @ 22:00:00	17.9	16.49	100.49	87	15.73	0	0	0	2.7
2020/05/31 @ 23:00:00	16.6	15.24	100.52	87	14.46	0	0	0	1.6
2020/06/01 @ 00:00:00	20.9	18.77	100.76	82	17.73	0	0	0	0.1
2020/06/01 @ 01:00:00	19.7	18.11	100.76	86	17.32	0	0	0	0
2020/06/01 @ 02:00:00	18.8	17.58	100.77	89	16.97	0	0	0	0
2020/06/01 @ 03:00:00	18	17.03	100.76	91	16.53	0	0	0	0
2020/06/01 @ 04:00:00	17.4	16.45	100.74	91	15.94	1	0	1	0
2020/06/01 @ 05:00:00	16.7	15.76	100.76	91	15.25	73.69	234	42	0.1
2020/06/01 @ 06:00:00	16.1	15.28	100.75	92	14.83	191.57	289	103	0.2
2020/06/01 @ 07:00:00	15.6	14.8	100.7	92	14.33	363.45	437	156	0
2020/06/01 @ 08:00:00	16.2	15.17	100.73	90	14.59	529.4	559	178	0.1
2020/06/01 @ 09:00:00	19.1	17.18	100.75	83	16.17	650.39	535	245	0.1
2020/06/01 @ 10:00:00	22.2	18.29	100.92	69	16.27	772.78	574	283	0.4
2020/06/01 @ 11:00:00	24.3	18.55	100.94	58	15.54	822.33	610	268	0.2
2020/06/01 @ 12:00:00	25.9	19.44	100.96	55	16.2	814.42	547	311	0.4

Columns: Add Remove Move Left Move Right

Units: SI IP

Figura 57 - Schermata di Elements

- Dopo aver modificato i valori ed aver salvato il file come ".epw" è stato necessario aprirlo con l'utility "Energy Plus Weather Converter" per "verificarlo".

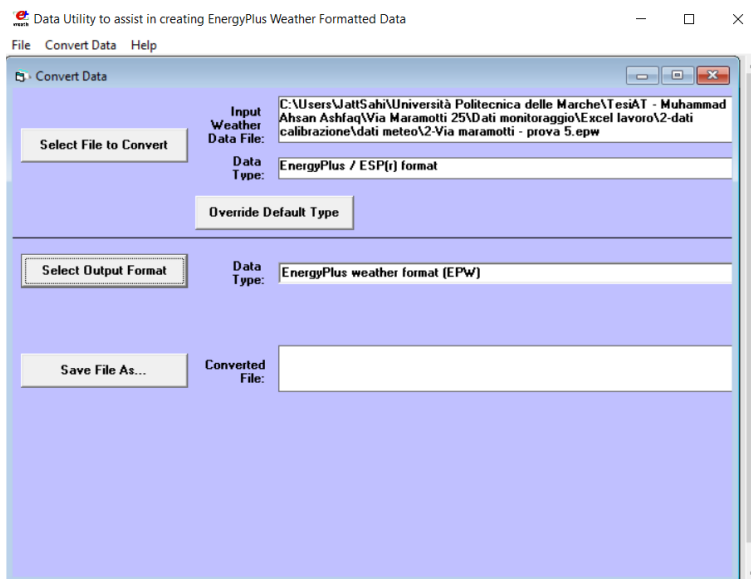


Figura 58 - Schermata utility "Energy Plus Wheater Converter"

Utilizzando questa procedura è stato possibile ottenere un file .epw da utilizzare in Design Builder.

### 6.2.3 Profili di accensione e spegnimento degli impianti

I profili dei condizionatori sono stati ricavati dai sensori «meter», presenti in ogni appartamento. Essi hanno fornito i consumi totali ed hanno un tempo di campionamento pari a 10 minuti.

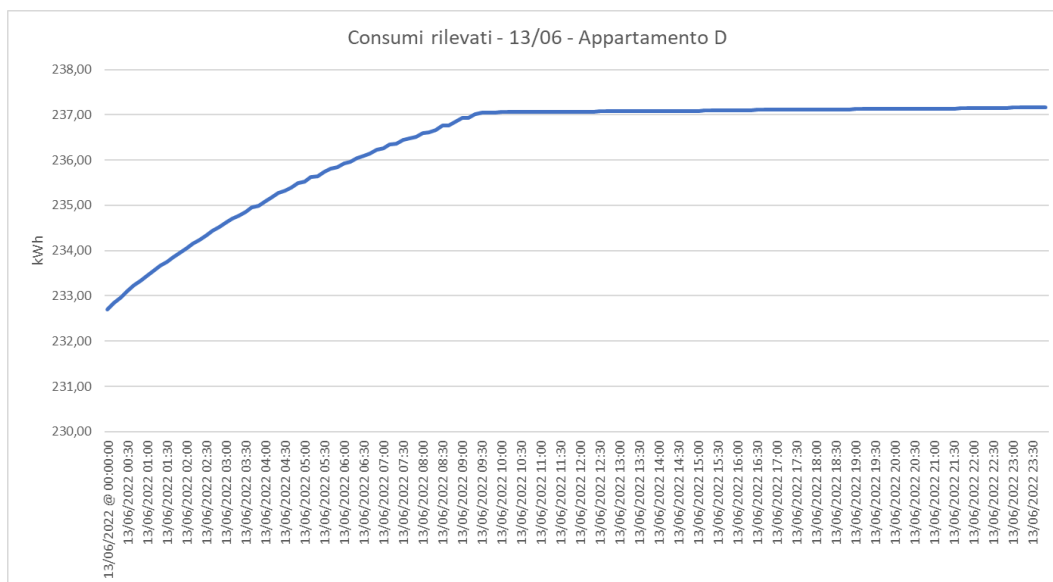


Figura 59 - Grafico dei consumi rilevati con il sensore "meter"

Da tali valori è stato possibile ricavare i valori di potenza istantanea.

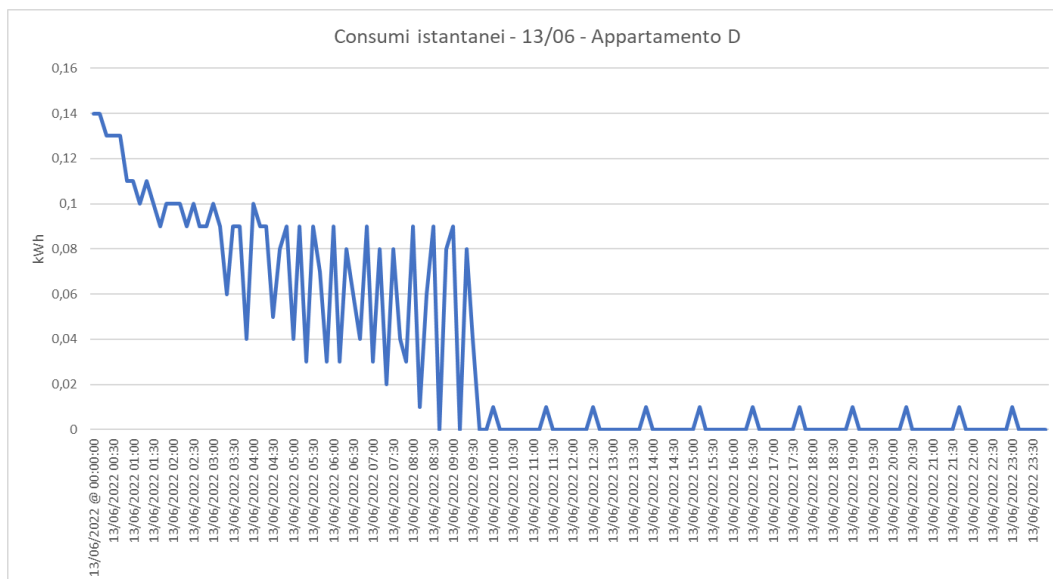


Figura 60 - Grafico della potenza istantanea

Dai valori di potenza istantanea sono stati omessi i valori inferiori a 0,02 kWh, in quanto non dovuti all'accensione del condizionatore.

L'impianto è stato considerato attivo quanto il valore di potenza istantanea risultava essere maggiore di 0,02 kWh, spento quando inferiore.

I profili di accensione e spegnimento dell'impianto prevedono solamente due valori: 0, quando l'impianto è spento, ed 1, quando l'impianto è attivo.

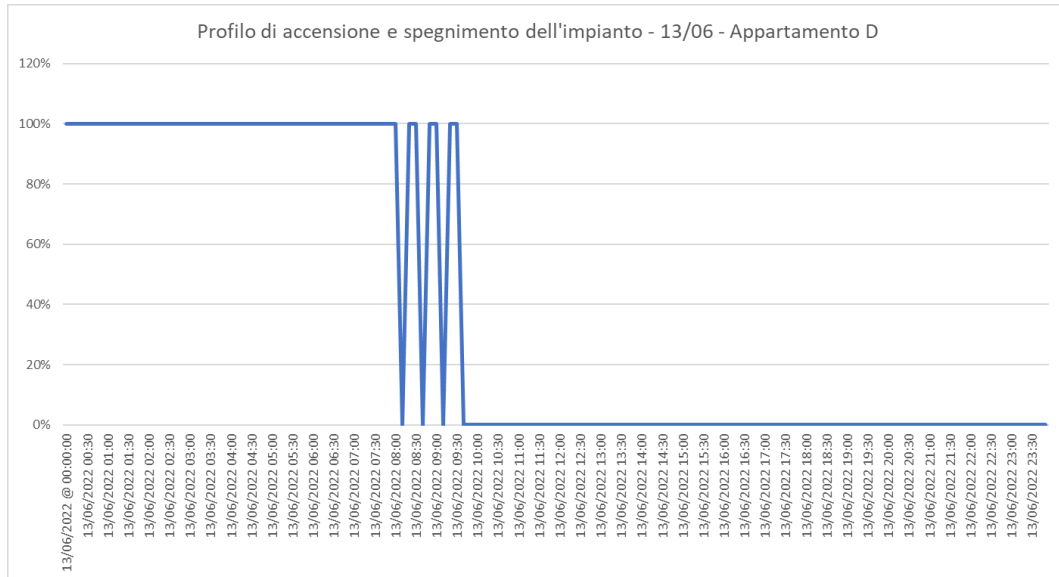


Figura 61 - Profilo di accensione dell'impianto

In questo caso non sono state effettuate semplificazioni orarie in quanto l'accensione dell'impianto è risultata essere rilevante nel calcolo del CV(RMSE) dei consumi.

#### 6.2.4 Profili di occupazione

I profili di occupazione sono stati ricavati attraverso il sensore PIR presente nel dispositivo "Elsys ERS C02".

Un sensore PIR è un sensore che misurando la radiazione infrarossa, permette di ottenere dati riguardo al movimento in una stanza.

Il sensore PIR presente nel dispositivo di monitoraggio fornisce valori compresi tra 0 e 10 in base al numero di attivazioni che riceve nel periodo di campionamento. All'aumentare del numero di attivazioni, il valore generato dal sensore sarà maggiore.

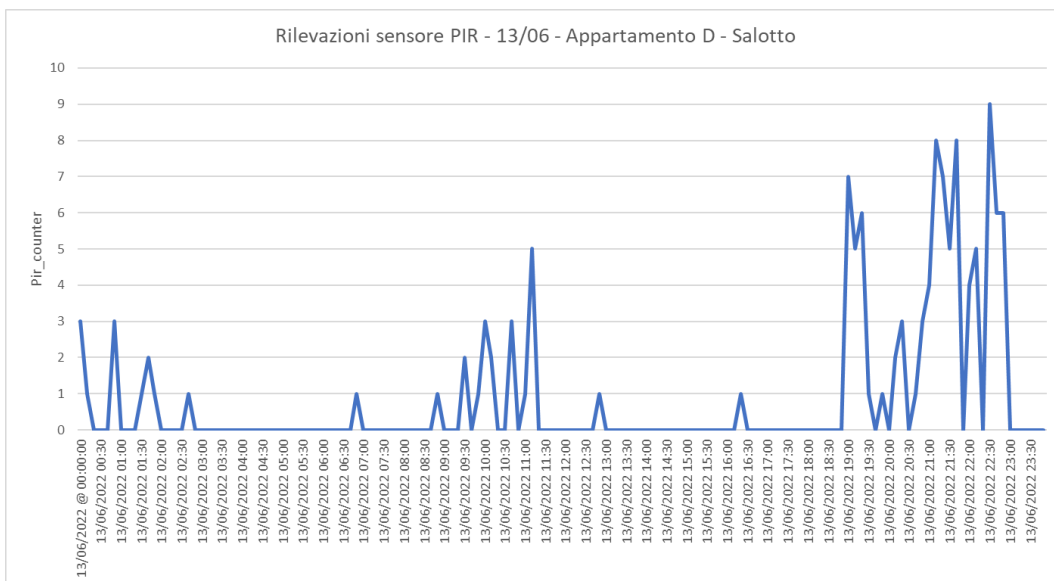


Figura 62 - Grafico delle rilevazioni del sensore PIR

Utilizzando i dati raccolti dai sensori PIR, è stata calcolata la media oraria per ottenere i profili di occupazioni.

Tali profili prevedono valori compresi tra: 0, quando l'appartamento è vuoto, ed 1, quando l'appartamento prevede un'occupazione pari al tasso di occupazione.

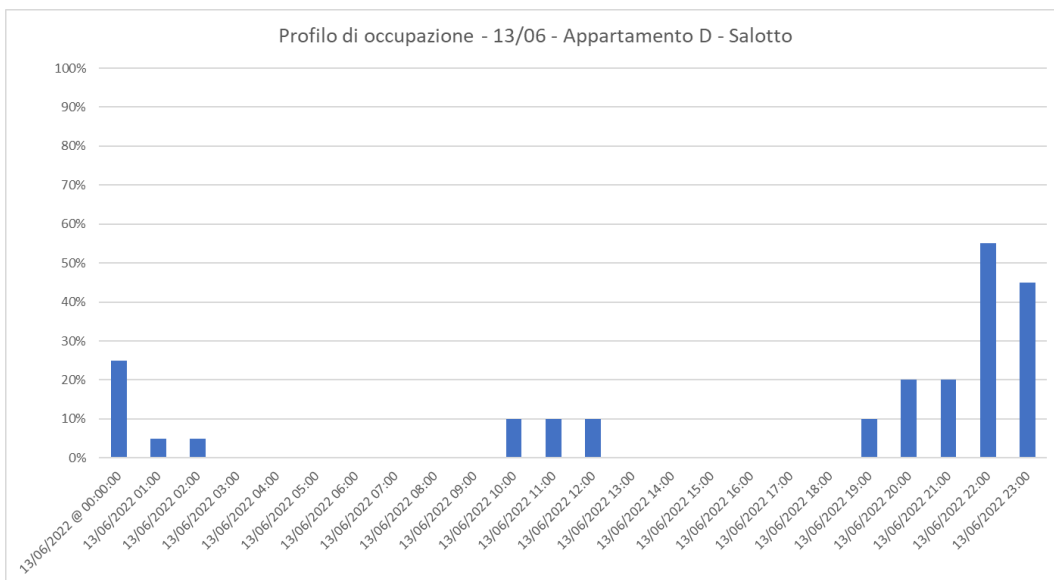


Figura 63 - Profilo di occupazione

## 6.2.5 Profili di apertura e chiusura degli infissi

L'apertura e chiusura degli infissi è stata valutata attraverso i sensori "Elsys EMS DOOR". Essi forniscono solamente due valori:

- 1 = quando la finestra risulta essere chiusa;
- 0 = quando la finestra risulta essere aperta.

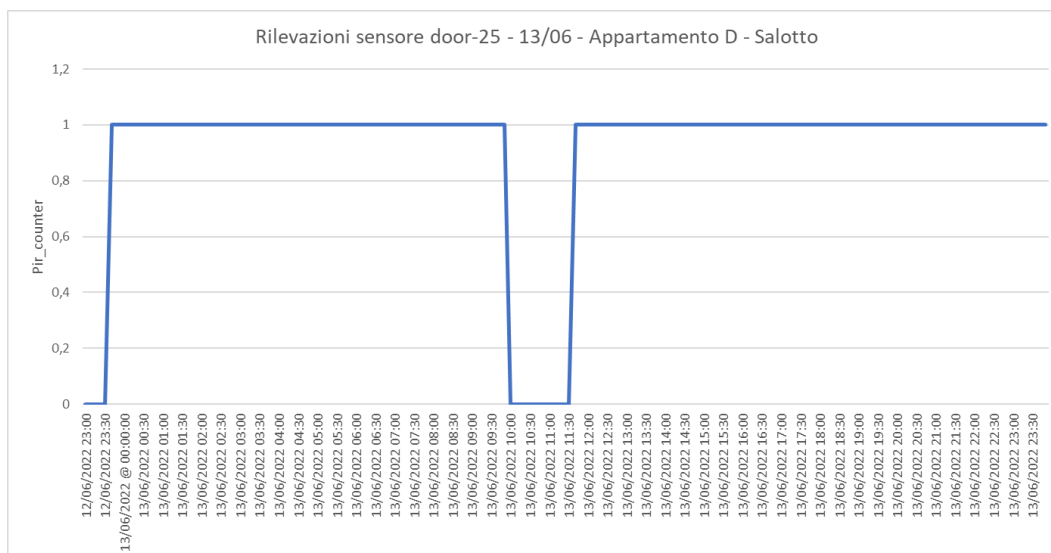


Figura 64 - Grafico del sensore "door"

Utilizzando i dati raccolti, è stata calcolata la media oraria al fine di ottenere i profili dell'apertura e chiusura degli infissi. Tali profili prevedono solamente due valori: 0, quando la finestra è chiusa, ed 1, quando la finestra è aperta. I valori intermedi si riferiscono alla condizione nella quale la finestra non risulta essere aperta o chiusa per l'intero intervallo orario.

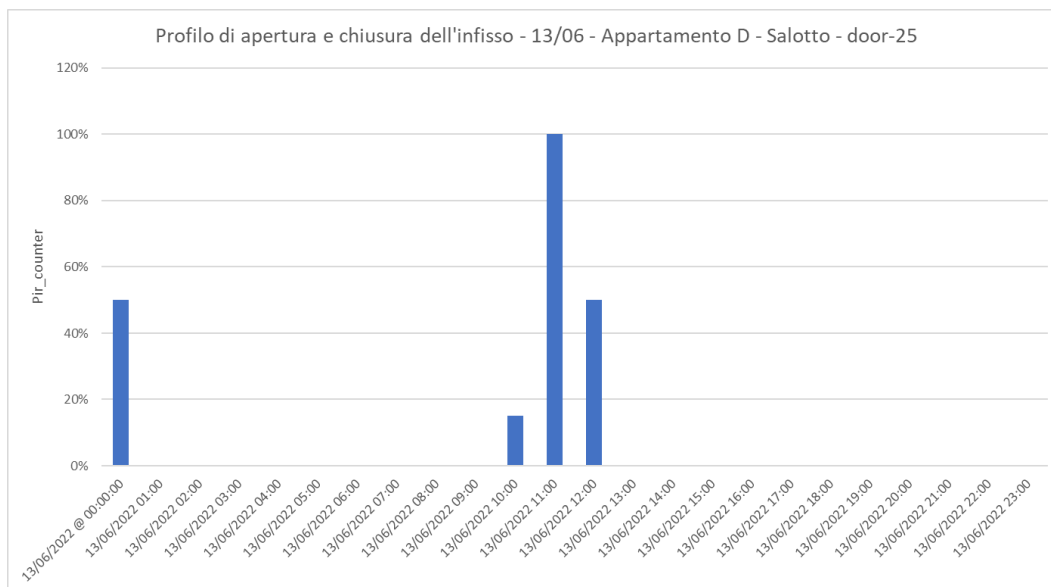


Figura 65 - Profilo di apertura e chiusura dell'infisso

## 6.2.6 Profili delle schermature

L'apertura e chiusura delle schermature è stata valutata attraverso un sensore che misura l'intensità di luce nella stanza monitorata. Esso è presente nel dispositivo "Elsys ERS C02".

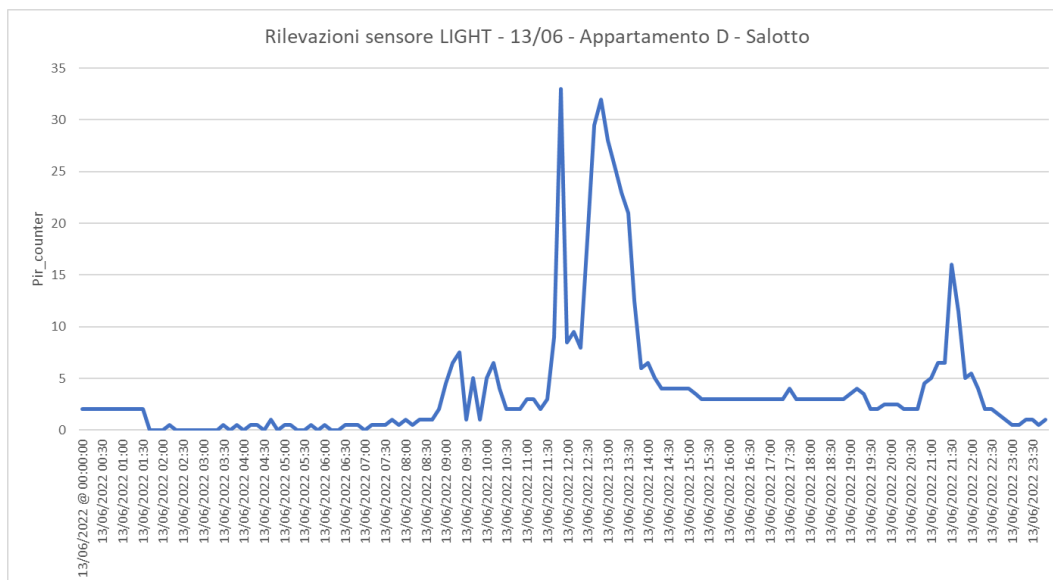


Figura 66 - Grafico del sensore "Light"

Data la difficoltà di valutare le schermature durante la notte, sono state considerate solamente le variazioni avvenute durante il giorno.

Utilizzando i dati raccolti, è stata calcolata la media oraria al fine di ottenere i profili delle schermature. Essi prevedono solamente due valori: 0, quando la schermatura è “abbassata”, ed 1, quando è “alzata”.

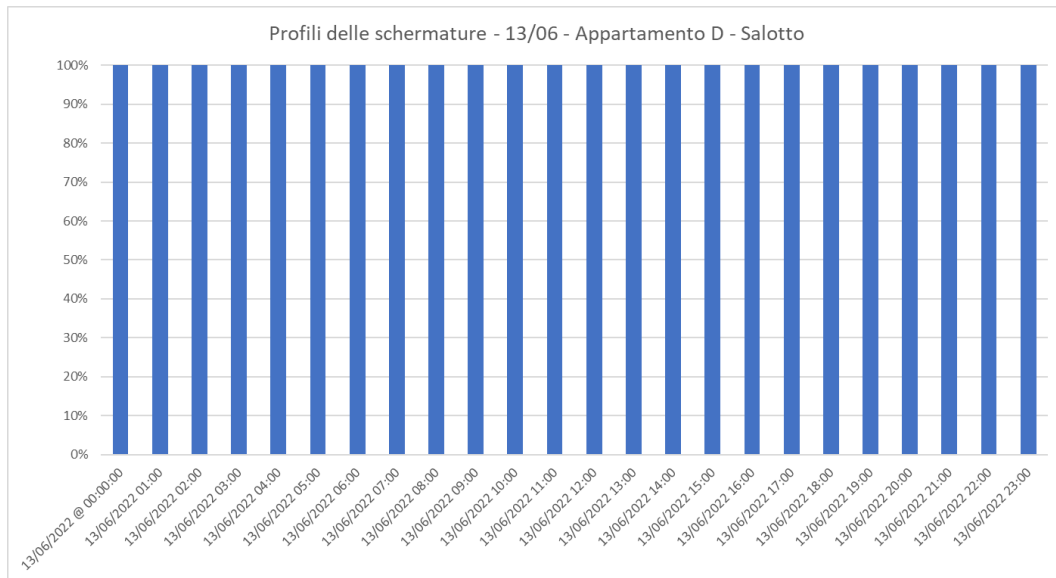


Figura 67 - Grafico profili delle schermature

## 6.2.7 Profili in Design Builder

Per inserire i profili di utilizzo in Design Builder è stato sviluppato un metodo semi-automatico che ha permesso di inserire i valori presenti nei fogli di calcolo in Design Builder.



Data / ora	Schedule occupancy
13/06/2022 @ 00:00:00	0,25
13/06/2022 01:00	0,05
13/06/2022 02:00	0,05
13/06/2022 03:00	0
13/06/2022 04:00	0
13/06/2022 05:00	0
13/06/2022 06:00	0
13/06/2022 07:00	0
13/06/2022 08:00	0
13/06/2022 09:00	0
13/06/2022 10:00	0,1
13/06/2022 11:00	0,1
13/06/2022 12:00	0,1
13/06/2022 13:00	0
13/06/2022 14:00	0
13/06/2022 15:00	0
13/06/2022 16:00	0
13/06/2022 17:00	0
13/06/2022 18:00	0
13/06/2022 19:00	0,1
13/06/2022 20:00	0,2
13/06/2022 21:00	0,2
13/06/2022 22:00	0,55
13/06/2022 23:00	0,45
14/06/2022 @ 00:00:00	0

Figura 68 – Profilo di occupazione - 13/06 - Salotto - Appartamento D

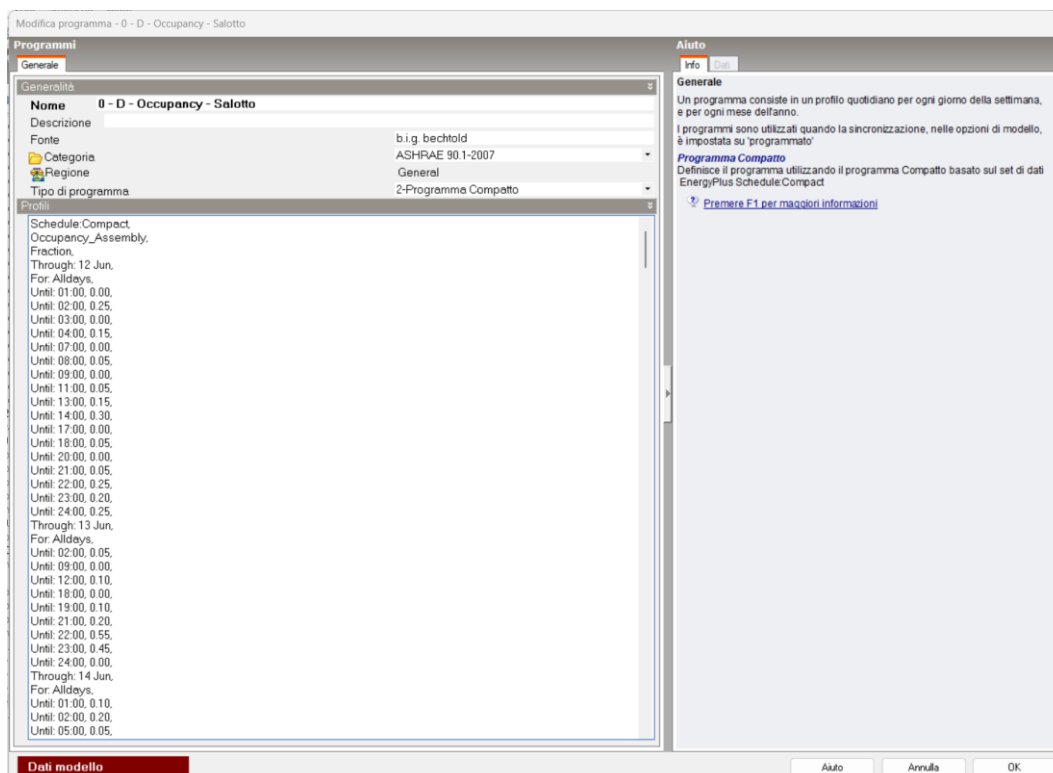


Figura 69 - Schermata DB - Inserimento profilo di occupazione

## 6.3 Simulazione e calibrazione

### 6.3.1 Appartamenti simulati

Gli appartamenti monitorati e simulati possono essere suddivisi in 2 gruppi:

- Appartamenti non occupati:
  - Appartamento A, posizionato a Ovest al piano 1,5;
  - Appartamento E, posizionato a Nord al piano 2;
  - Appartamento C, posizionato a Ovest al piano 2.
- Appartamenti occupati:
  - Appartamento D, posizionato a Nord al piano 1;
  - Appartamento B, posizionato a Est al piano 2.

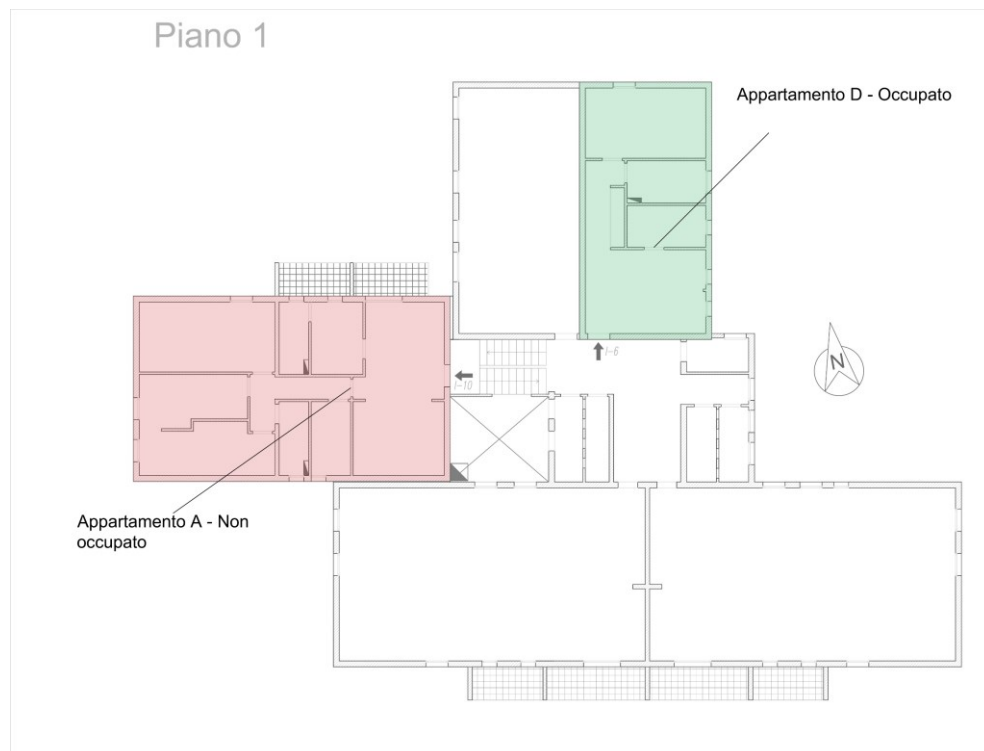


Figura 70 - Pianta P1

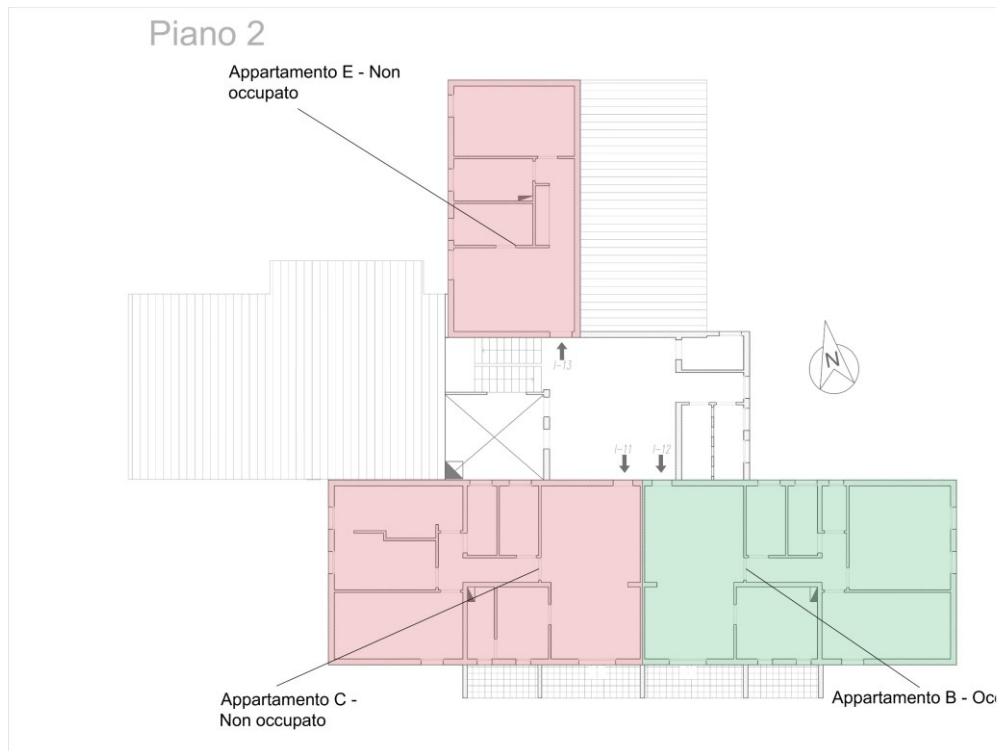


Figura 71 - Pianta P2

### 6.3.2 Profili di utilizzo

Di seguito sono riportati tutti i profili di utilizzo impiegati per gli appartamenti simulati.

#### 6.3.2.1 Appartamento A

Si riportano di seguito i profili di utilizzo impiegati per l'appartamento A.

- Profili di accensione e spegnimento dell'impianto  
L'impianto, nel periodo studio, risulta essere spento.

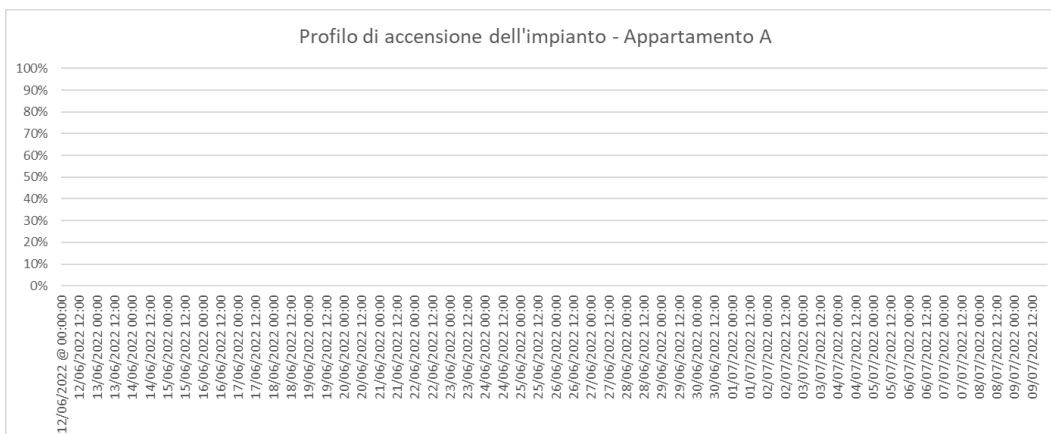


Figura 72 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento A

- **Profili di occupazione**

Il profilo di occupazione può essere considerato pari a 0, tranne per il giorno 05/07/2023.

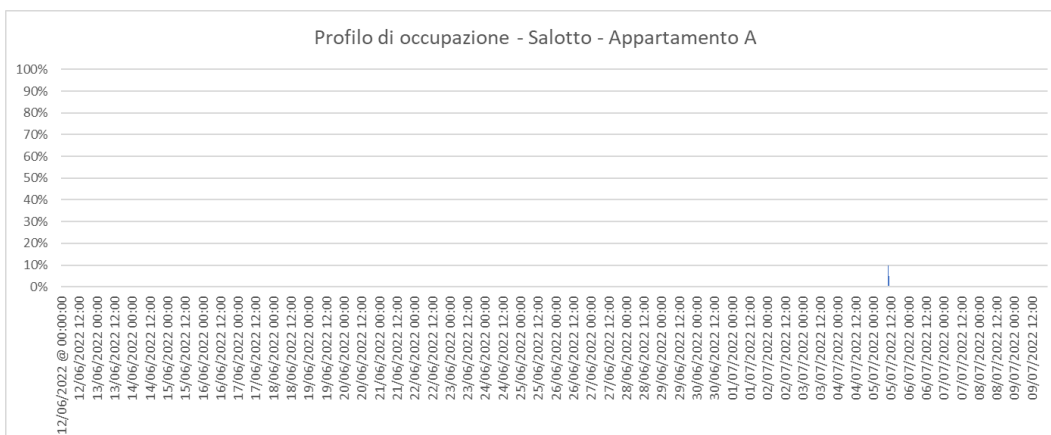


Figura 73 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento A

- **Profili di apertura e chiusura degli infissi**

Per quanto riguarda l'apertura e chiusura degli infissi, è possibile considerare gli infissi monitorati dai sensori door 30,31,32,34,35,36 sempre aperti, mentre per quello monitorato dal door 33, utilizziamo il profilo di utilizzo ricavato dal relativo sensore.

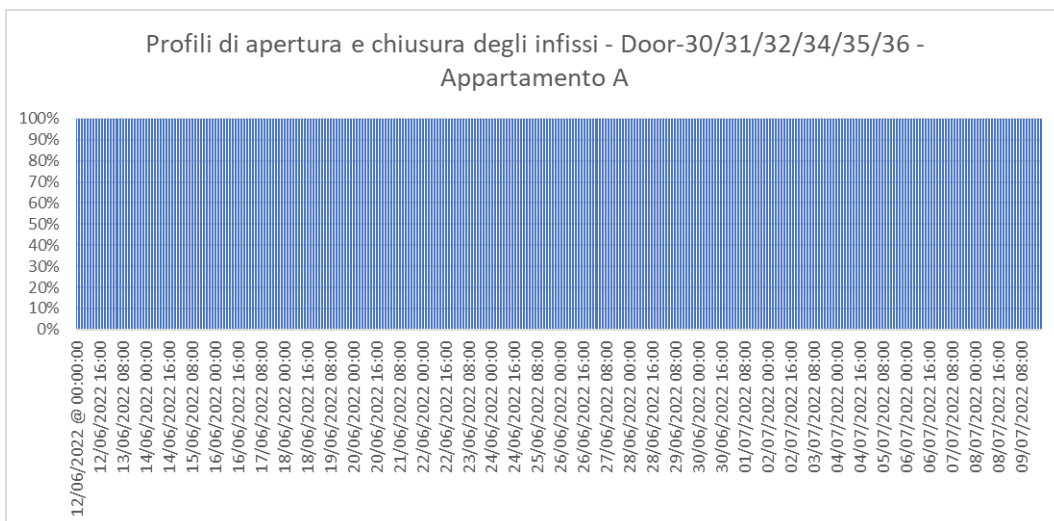


Figura 74 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - Door 30/31/32/34/35/36 - Appartamento A

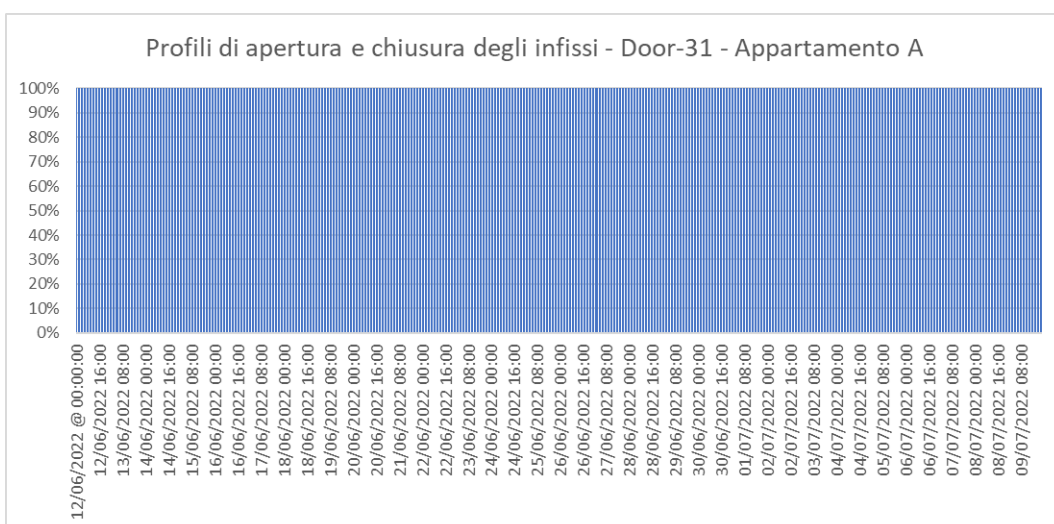


Figura 75 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - Door 32 - Appartamento A

- **Profili delle schermature**

Le schermature degli infissi nelle stanze monitorate risultano essere tutte abbassate.

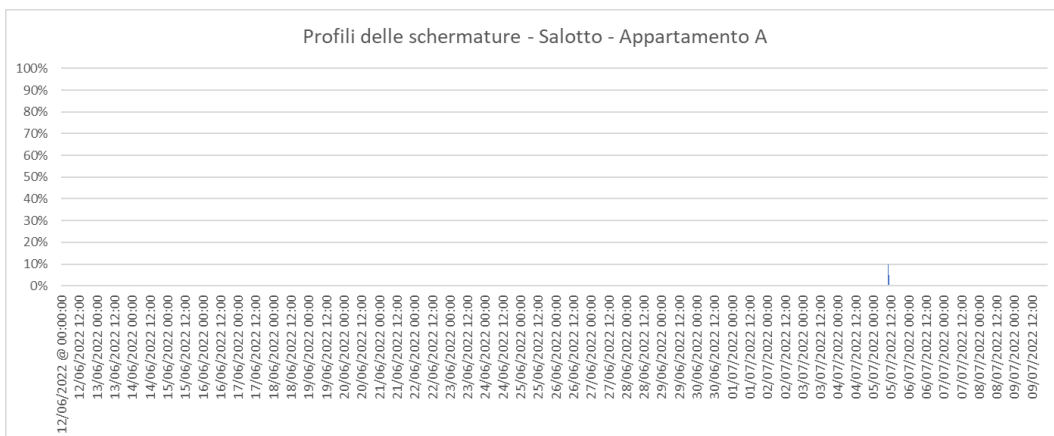


Figura 76 - Profili delle schermature - Salotto - Appartamento A

### 6.3.2.2 Appartamento E

Si riportano di seguito i profili di utilizzo impiegati per l'appartamento E.

- **Profili di accensione e spegnimento dell'impianto**  
L'impianto risulta essere spento.

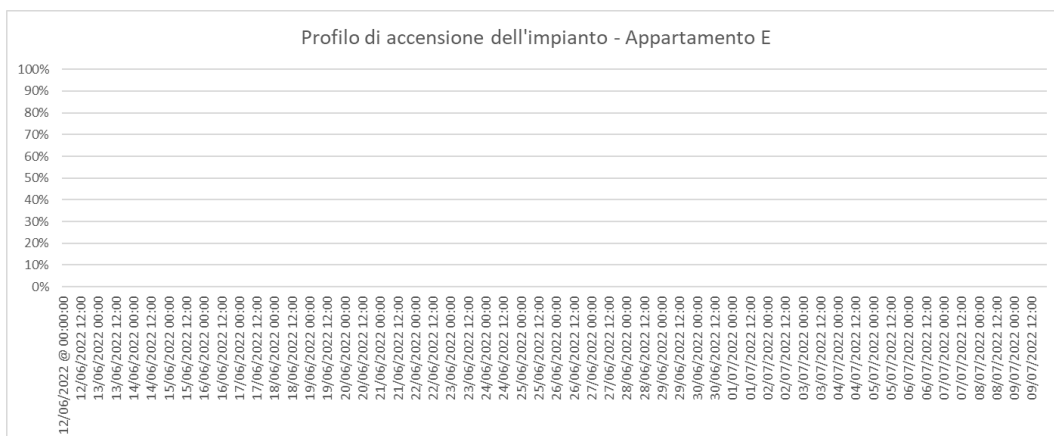


Figura 77 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento E

- **Profili di occupazione**  
L'appartamento può essere considerato non occupato.

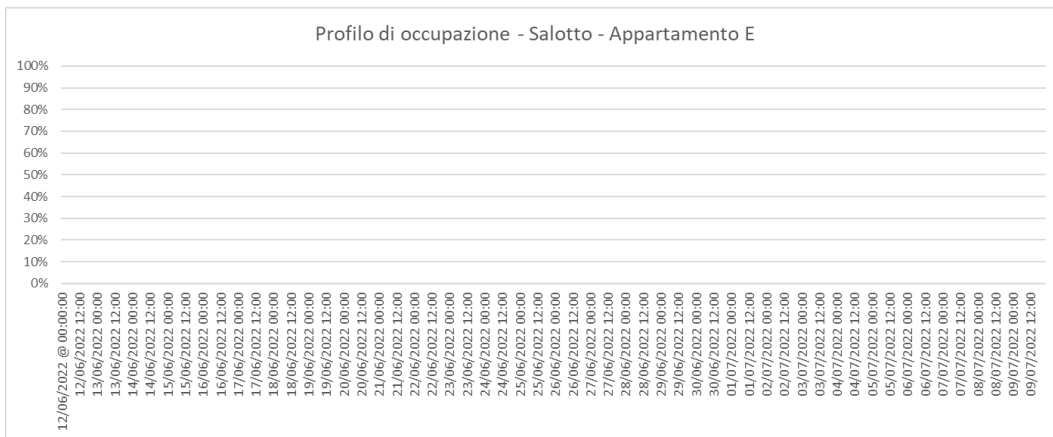


Figura 78 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento E

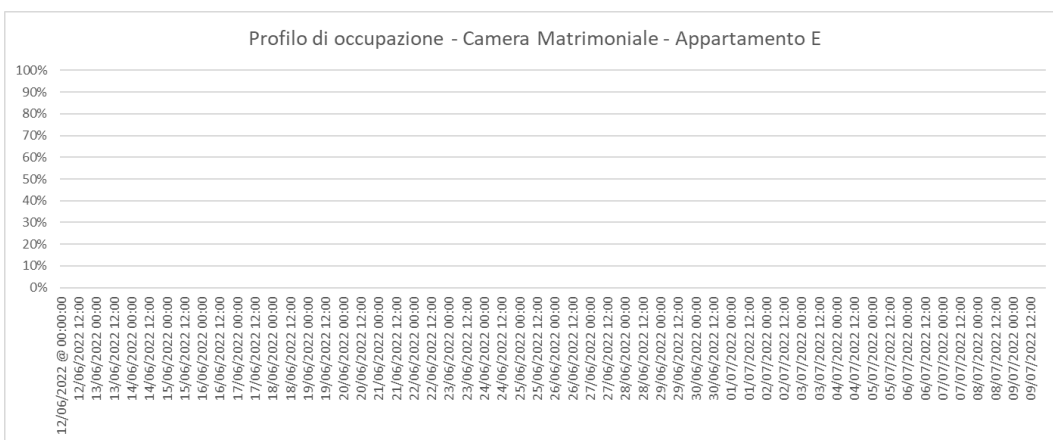


Figura 79 - Profilo di occupazione - Camera matrimoniale - Appartamento E

- **Profili di apertura e chiusura degli infissi**  
**Per quanto riguarda l'apertura e chiusura degli infissi, possiamo considerare tutte le finestre sempre chiuse.**

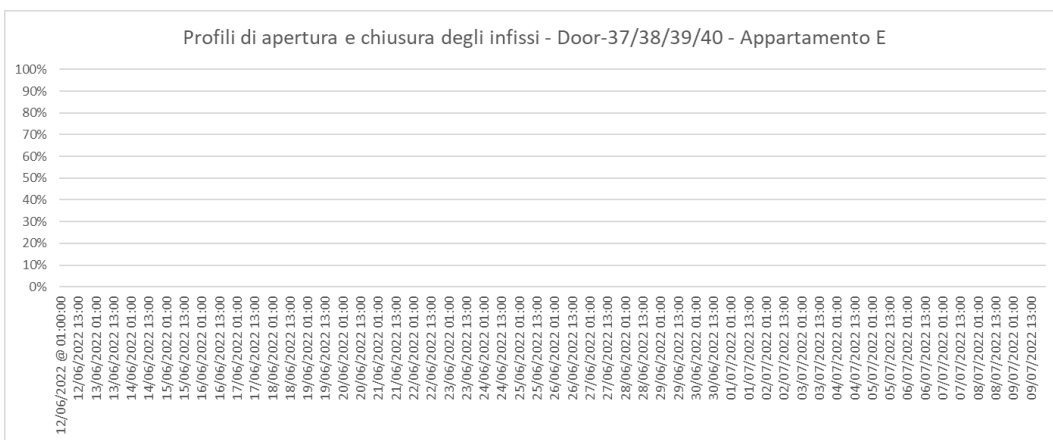


Figura 80 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 37/38/39/40 – Appartamento E

- **Profili delle schermature**

Le schermature degli infissi nelle stanze monitorate risultano essere tutte abbassate.

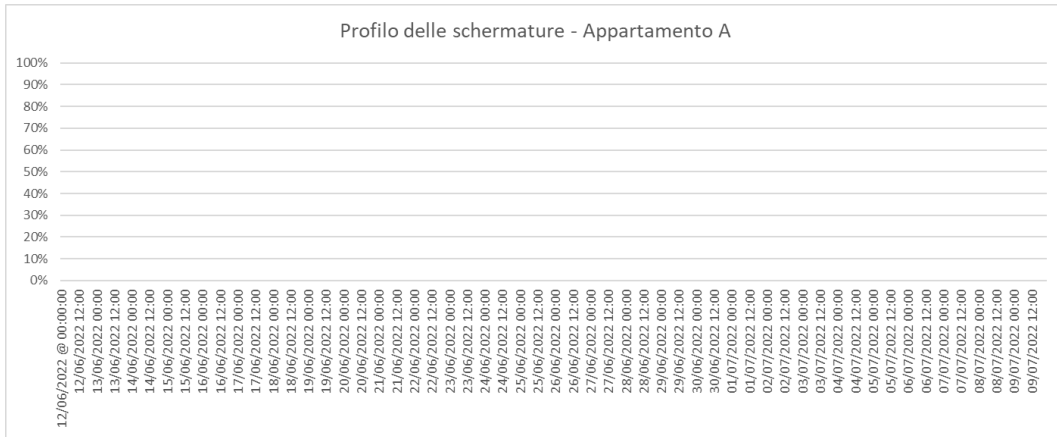


Figura 81 - Profili delle schermature - Appartamento E

### 6.3.2.3 Appartamento C

Si riportano di seguito i profili di utilizzo impiegati per l'appartamento C.

- **Profili di accensione e spegnimento dell'impianto**

L'impianto risulta essere spento fino al giorno 04/07/2023.

Successivamente possiamo considerare le accensioni con il profilo di utilizzo ricavato dal relativo sensore.

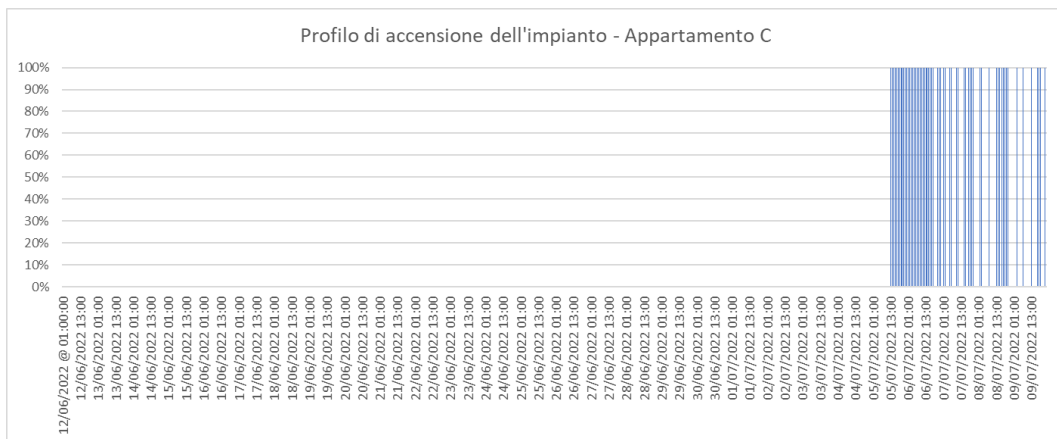


Figura 82 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento C

- **Profili di occupazione**

Di seguito sono riportati i profili di occupazione dell'appartamento C.



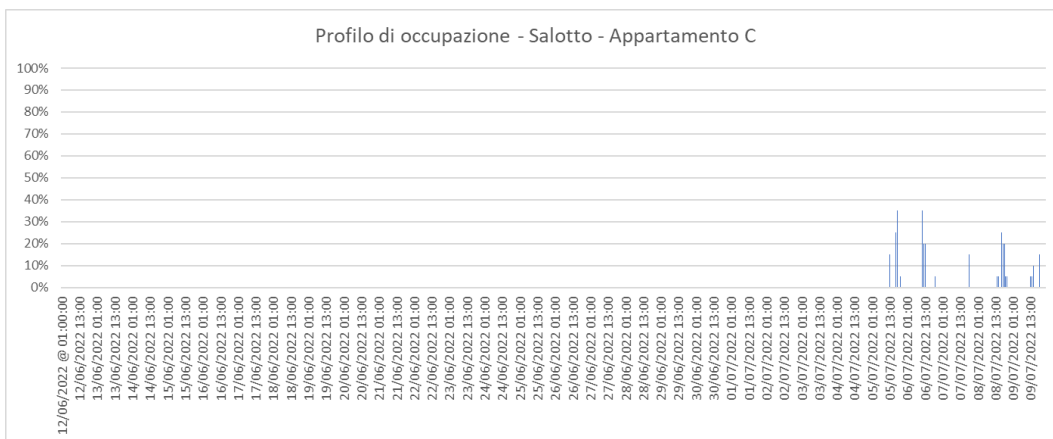


Figura 83 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento C

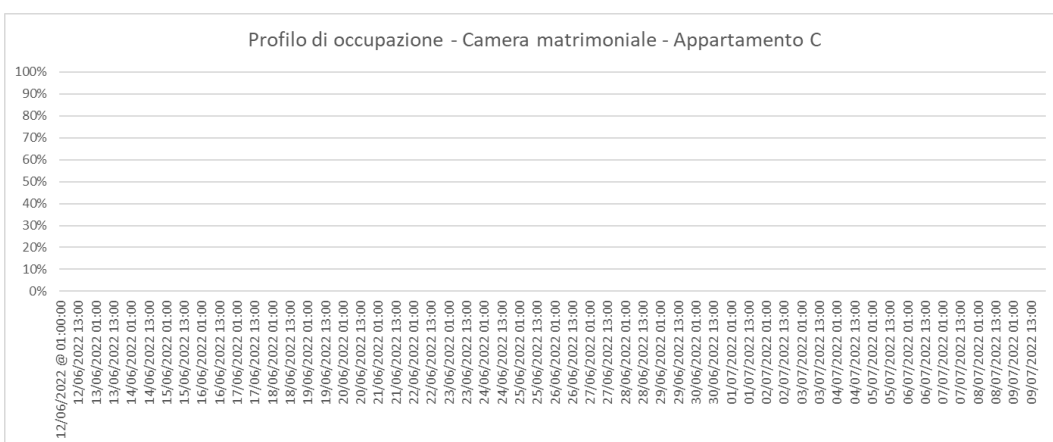


Figura 84 - Profilo di occupazione - Camera matrimoniale - Appartamento C

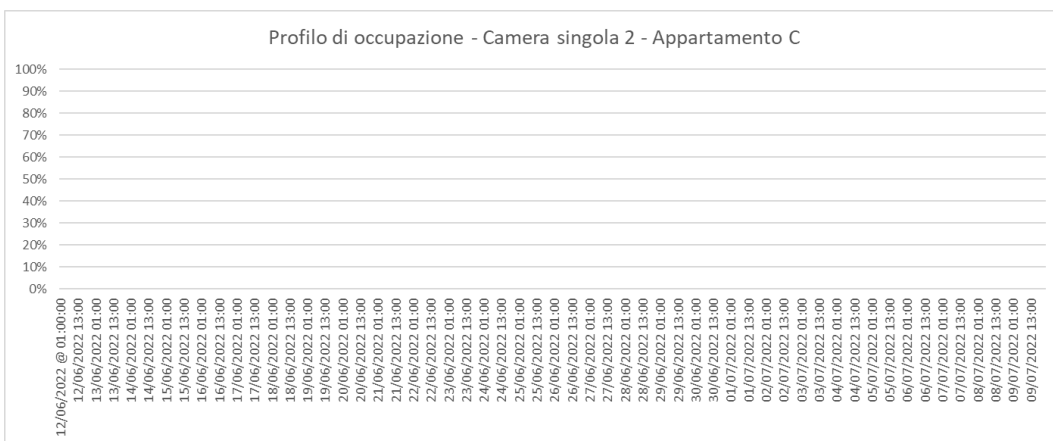


Figura 85 - Profilo di occupazione - Camera singola 2 - Appartamento C

- **Profili di apertura e chiusura degli infissi**  
Per quanto riguarda l'apertura e chiusura degli infissi, i door 48,49,52,53, sono stati considerati chiusi.

- **Profili delle schermature**

Le schermature degli infissi nelle stanze monitorate risultano essere tutte abbassate.

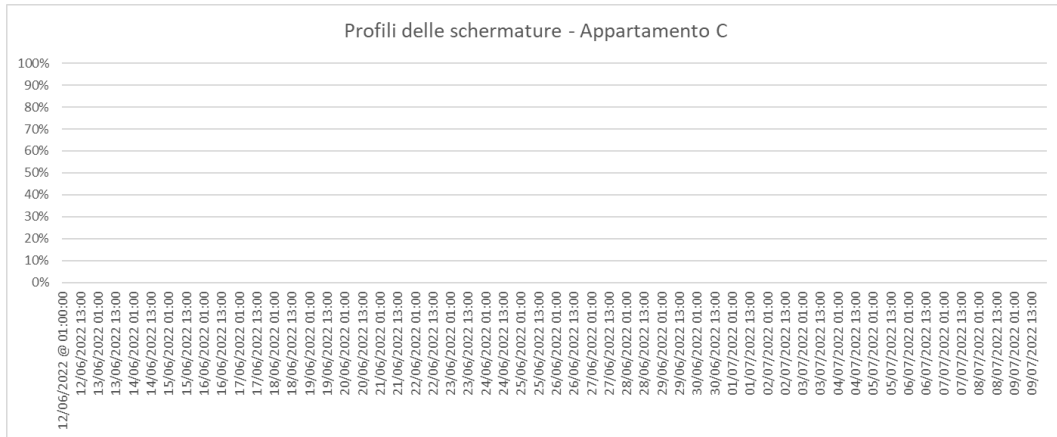


Figura 86 - Profilo delle schermature - Appartamento C

### 6.3.2.4 Appartamento B

Si riportano di seguito i profili di utilizzo impiegati per l'appartamento B.

- **Profili di accensione e spegnimento dell'impianto**

Di seguito è riportato il profilo riguardante l'accensione e lo spegnimento dell'impianto per l'appartamento B.

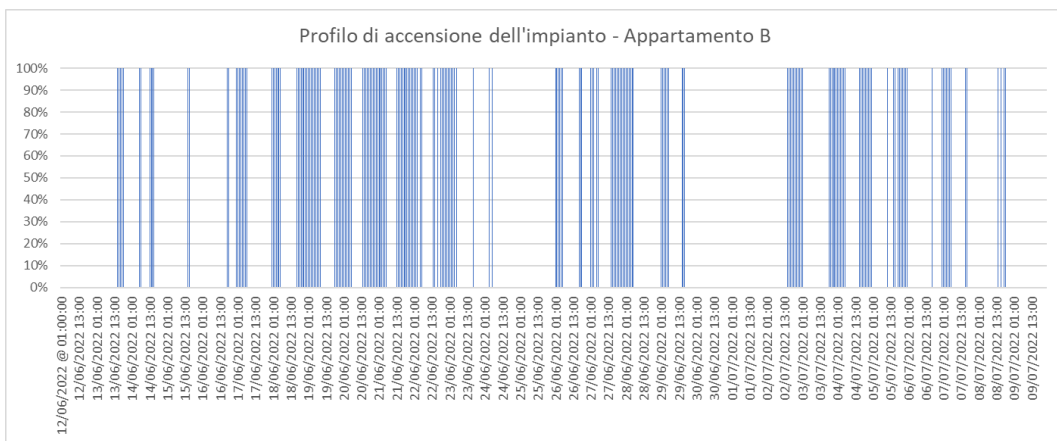


Figura 87 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento B

- **Schedule di occupazione**

Di seguito sono riportati i profili di occupazione dell'appartamento B.

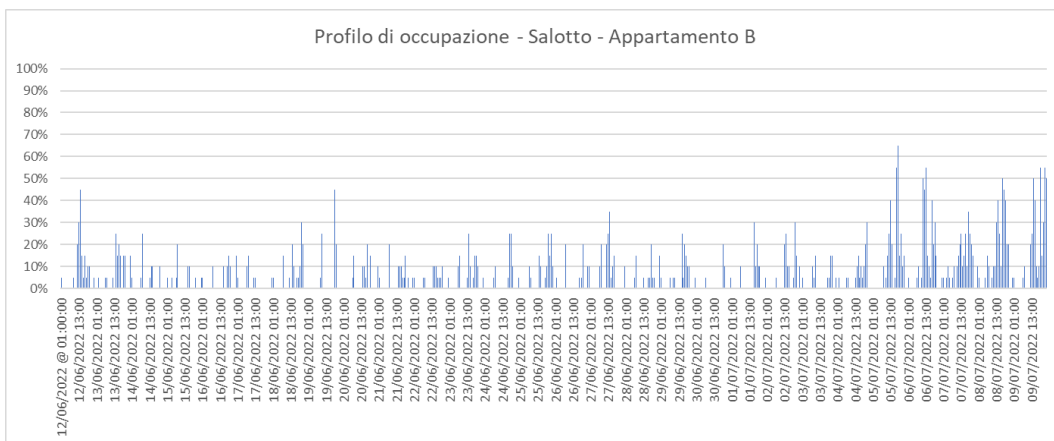


Figura 88 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento B

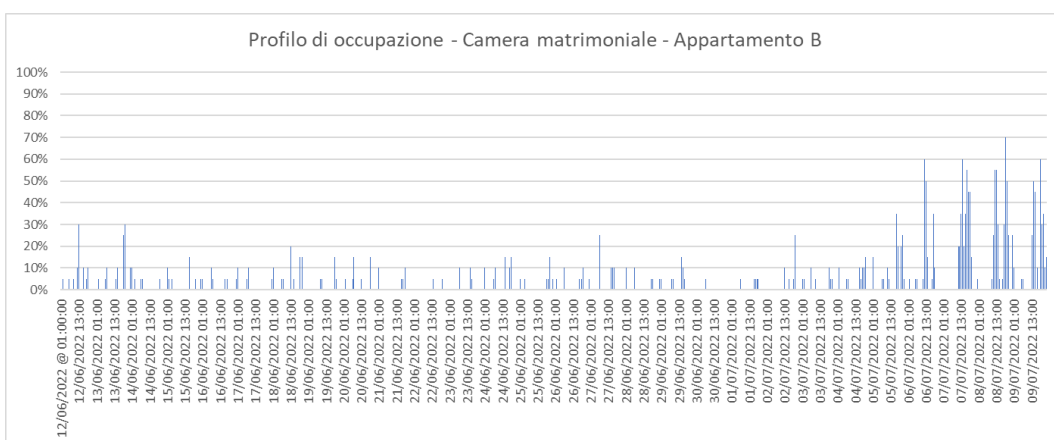


Figura 89 - Profilo di occupazione - Camera matrimoniale - Appartamento B

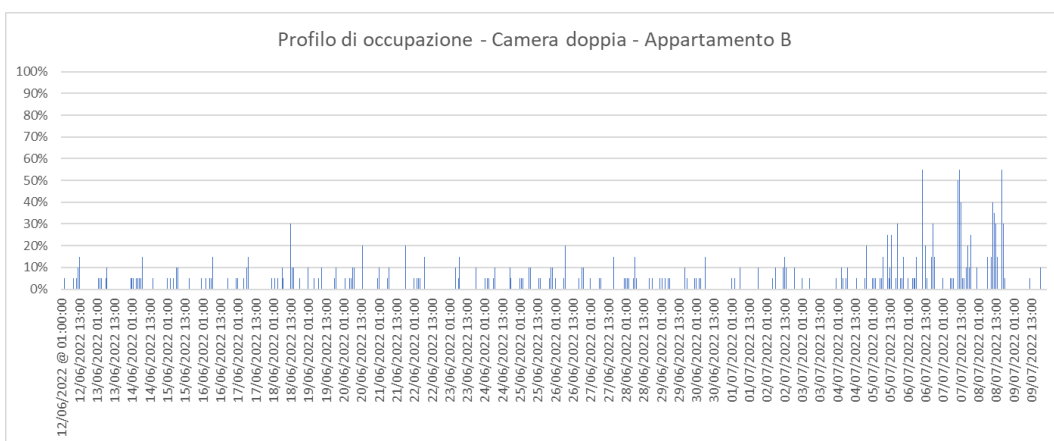


Figura 90 - Profilo di occupazione - Camera doppia - Appartamento B

- Profili di apertura e chiusura degli infissi

Di seguito sono riportati i profili riguardanti l'apertura e chiusura degli infissi monitorati dell'appartamento B.

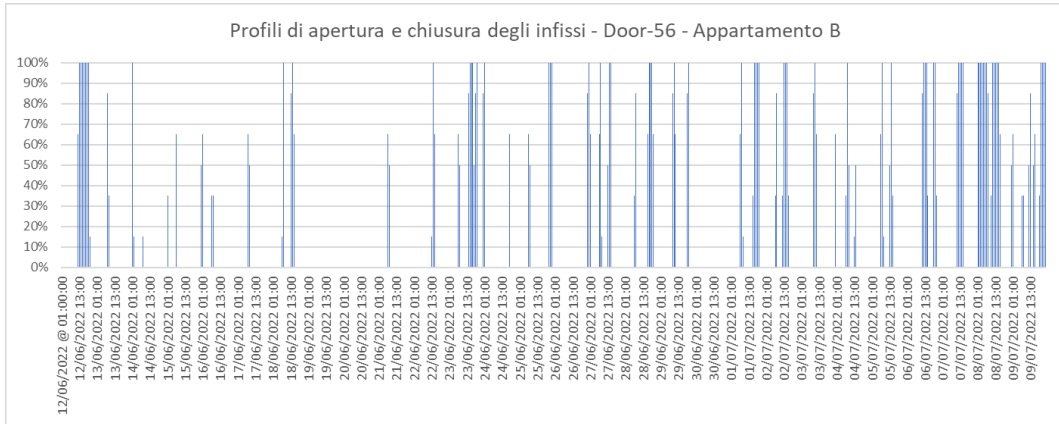


Figura 91 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 56 – Appartamento B

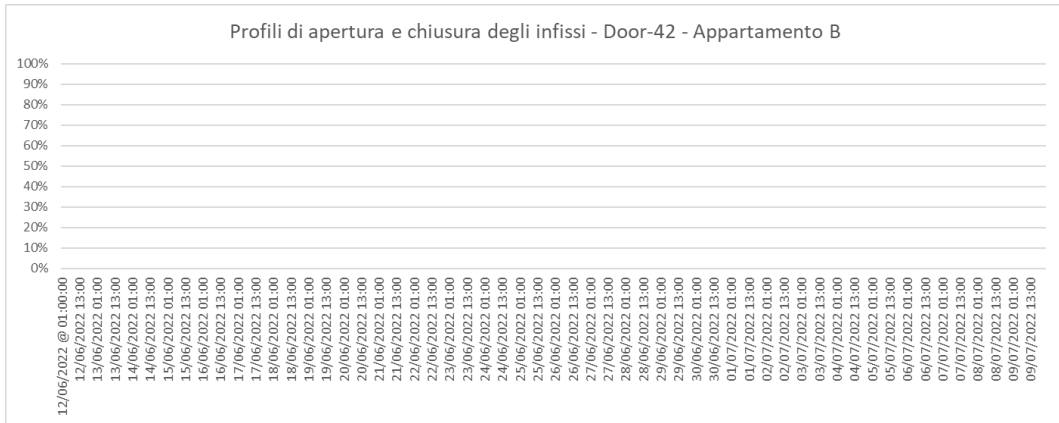


Figura 92 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 42 – Appartamento B

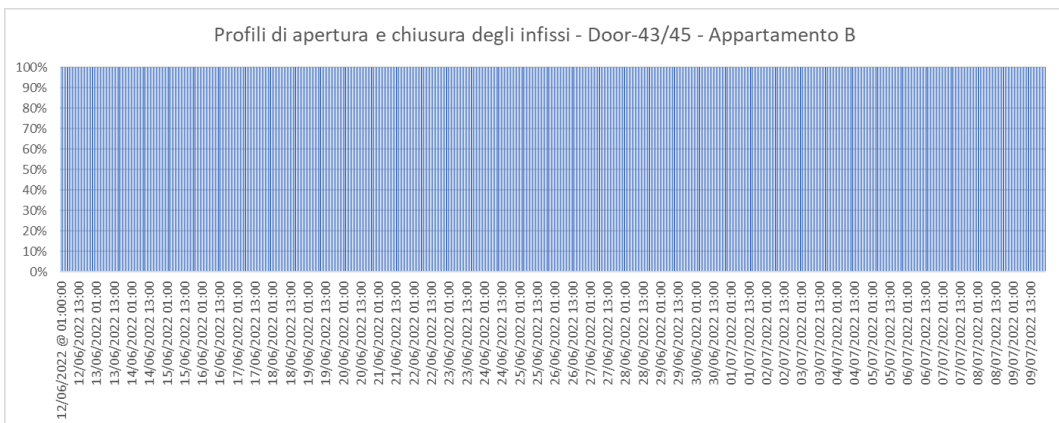


Figura 93 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 43/45 – Appartamento B

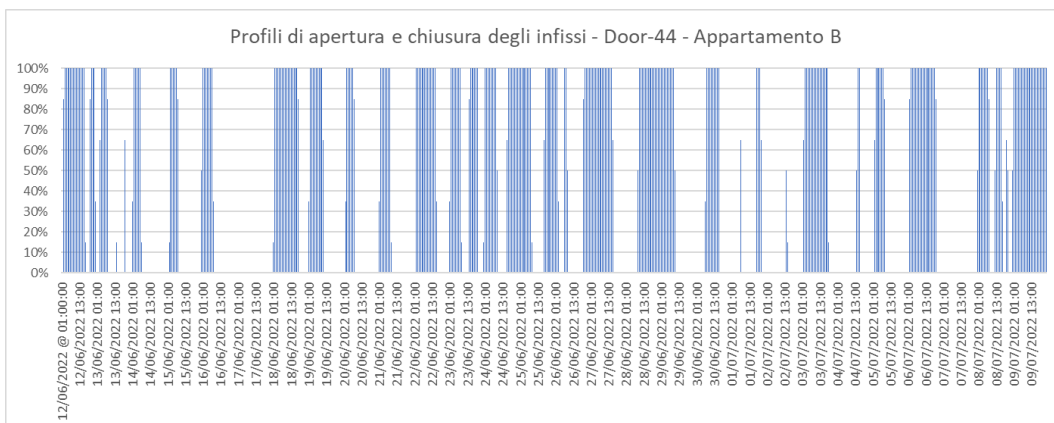


Figura 94 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 44 – Appartamento B

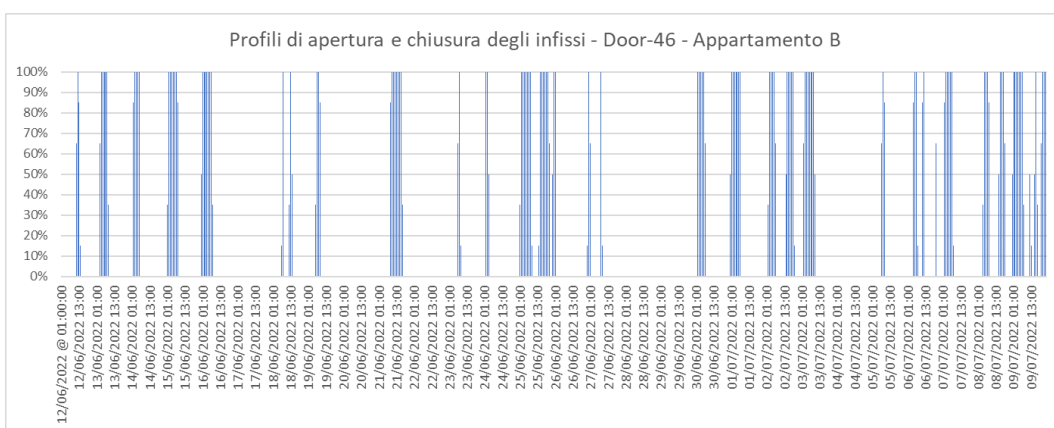


Figura 95 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 46 – Appartamento B

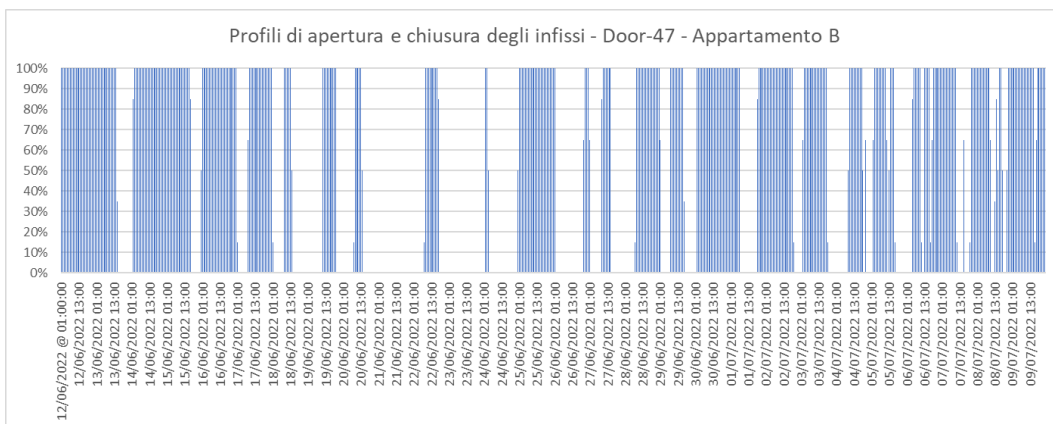


Figura 96 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 47 – Appartamento B

- **Profili delle schermature**

Le schermature degli infissi nelle stanze monitorate risultano essere tutte alzate.

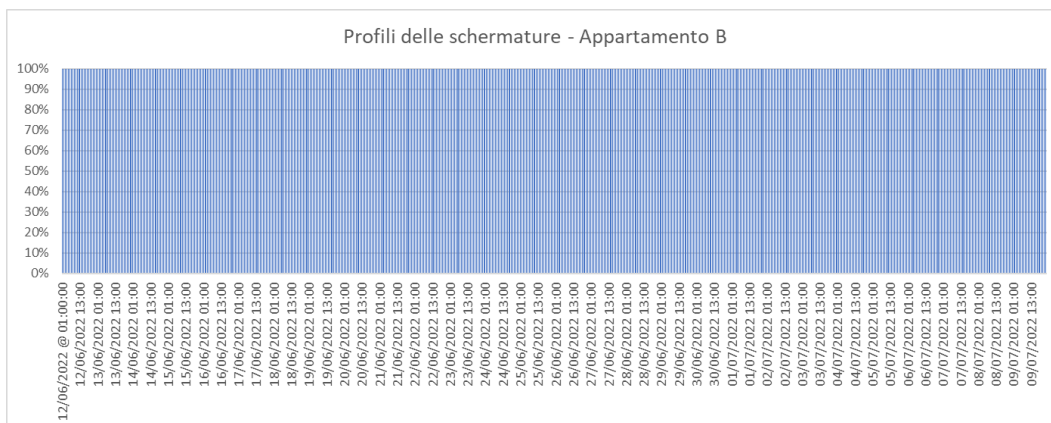


Figura 97 - Profili delle schermature - Appartamento B

### 6.3.2.5 Appartamento D

Si riportano di seguito i profili di utilizzo impiegati per l'appartamento D.

- **Profilo di accensione e spegnimento dell'impianto**  
Di seguito è riportato il profilo riguardante l'accensione e lo spegnimento dell'impianto per l'appartamento D.

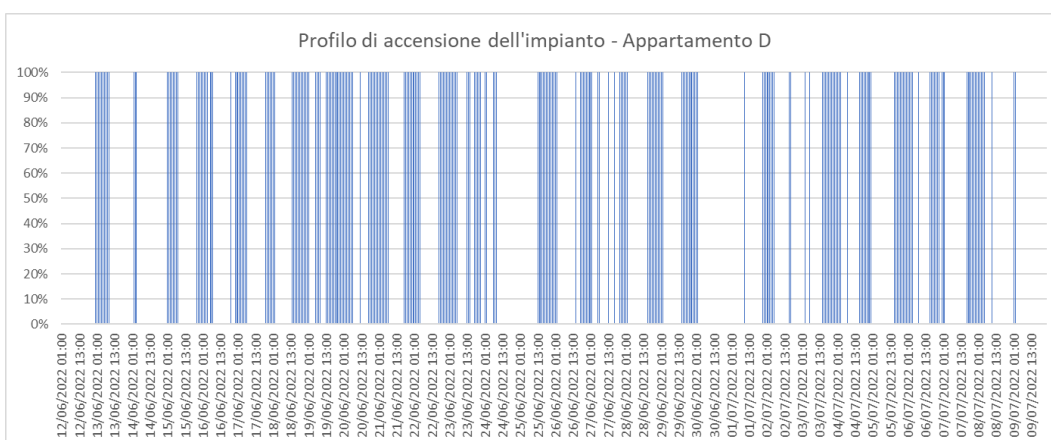


Figura 98 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento D

- **Profili di occupazione**  
Di seguito sono riportati i profili di occupazione per l'appartamento D.

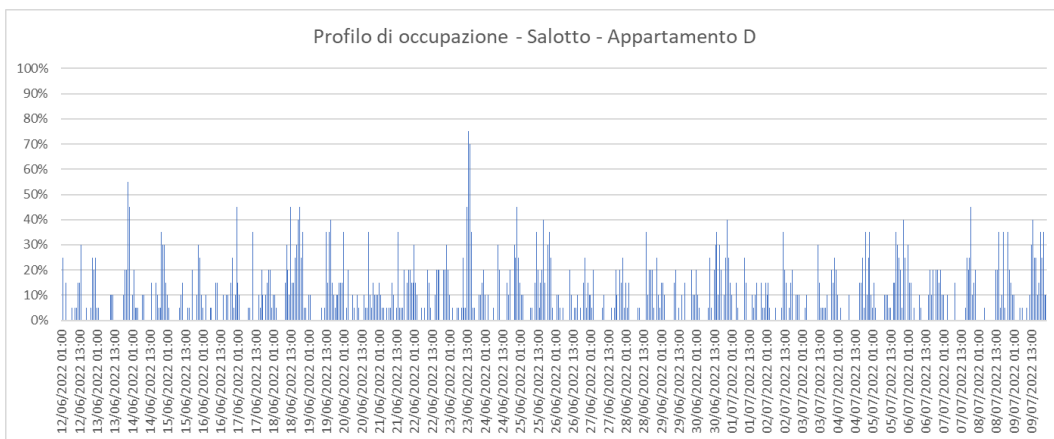


Figura 99 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento D

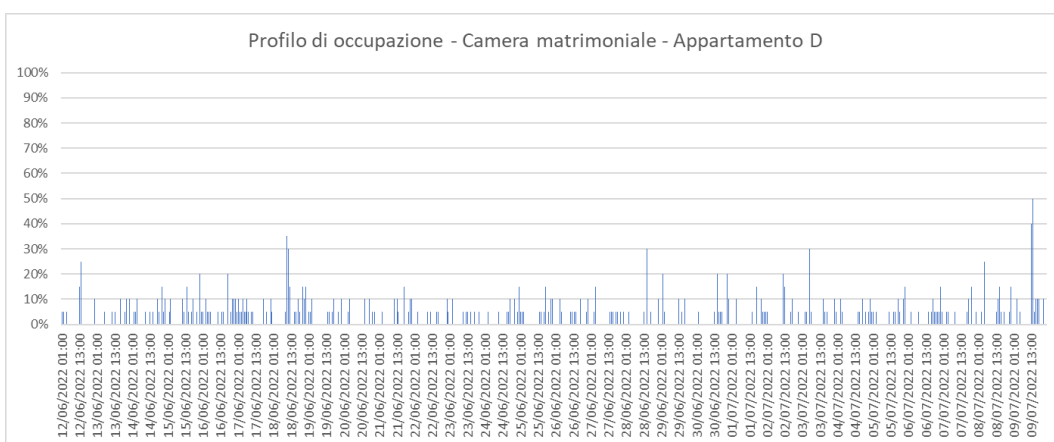


Figura 100 - Profilo di occupazione - Camera matrimoniale - Appartamento D

- **Profili di apertura e chiusura degli infissi**  
Di seguito sono riportati i profili riguardanti l'apertura e chiusura degli infissi monitorati per l'appartamento D.

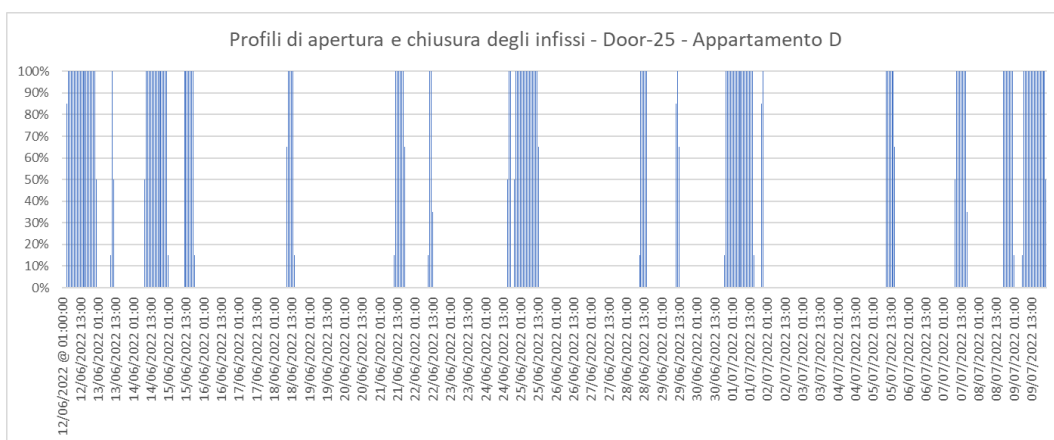


Figura 101 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 25 – Appartamento D

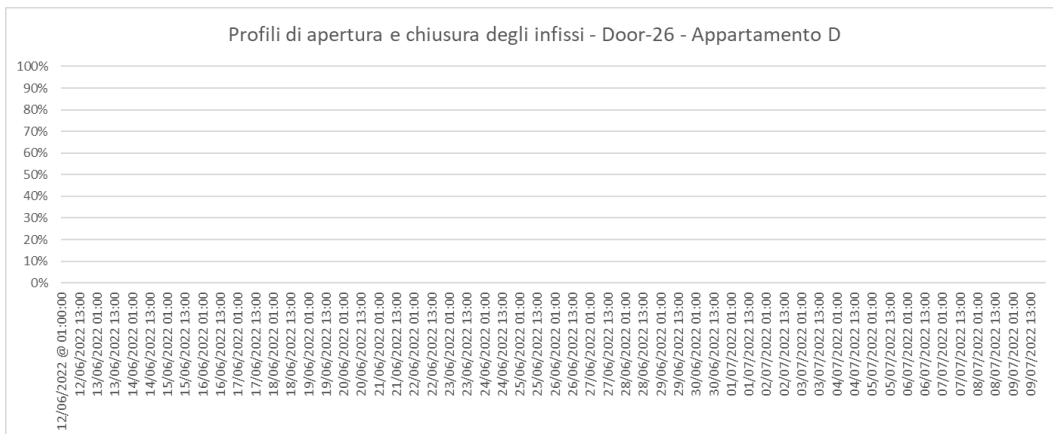


Figura 102 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 26 – Appartamento D

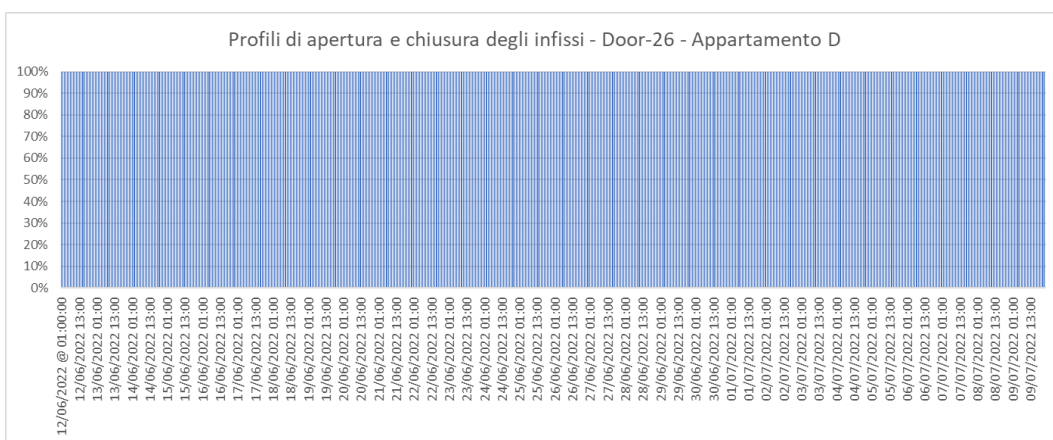


Figura 103 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 26 – Appartamento D

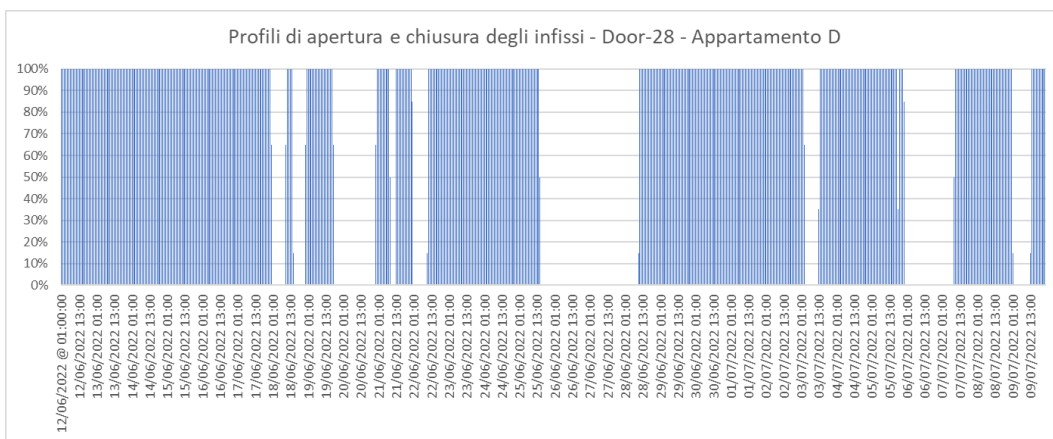


Figura 104 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 28 – Appartamento D



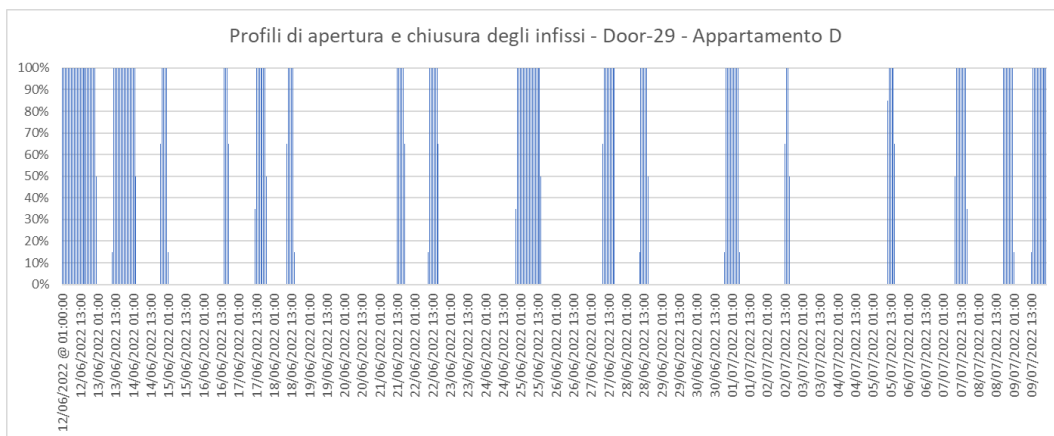


Figura 105 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 29 – Appartamento D

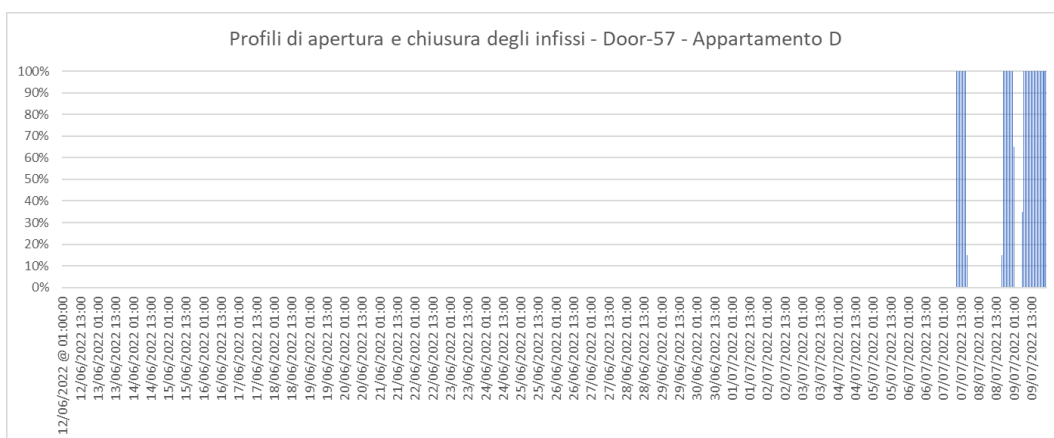


Figura 106 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 57 – Appartamento D

- **Profili delle schermature**

Le schermature degli infissi nelle stanze monitorate risultano essere tutte abbassate.

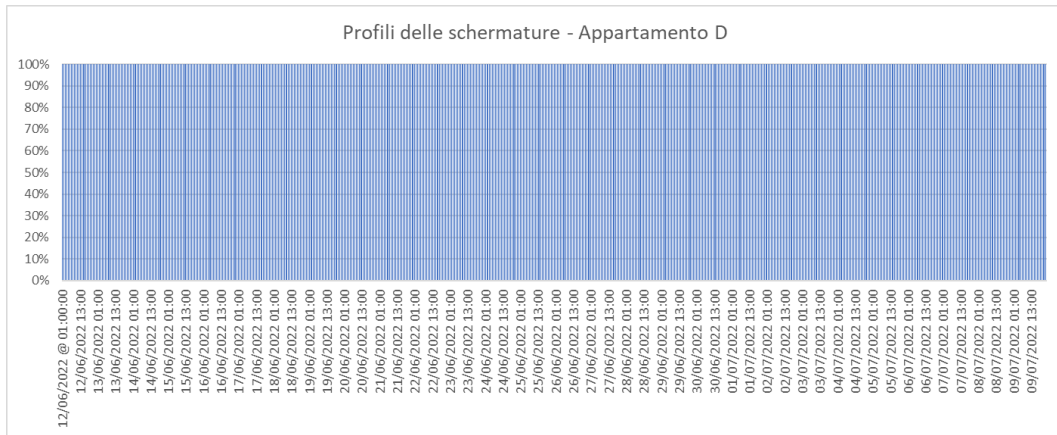


Figura 107 - Profili delle schermature - Appartamento D

### 6.3.3 Parametri considerati

Il confronto tra i dati simulati e rilevati è stato effettuato sia attraverso i grafici dell'andamento delle temperature e consumi, che con i valori di RMSE e CV(RMSE), valutati per le 4 settimane studio.

L'RMSE è una misura di errore assoluta in quanto le deviazioni sono elevate al quadrato per evitare che i valori positivi e negativi possano annullarsi. Una ulteriore caratteristica è che gli errori di valore maggiore sono amplificati. L'unità di misura è la stessa dei valori simulati e rilevati.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Tr - Ts)^2}{n}} = [^{\circ}C]$$

$Tr = [^{\circ}C]$  = temperatura rilevata

$Ts = [^{\circ}C]$  = temperatura simulata

$n = [-]$  = intervalli

Il CV(RMSE), invece, ci permette di definire quanto i valori previsti del modello sono accurati rispetto a quelli reali. È un parametro adimensionale e viene espresso in %. È stato calcolato come segue:

$$CV(RMSE) = \frac{1}{Tr} * RMSE = \frac{1}{Tr} \sqrt{\frac{\sum (Tr - Ts)^2}{n}} = [\%]$$

$Tr = [^{\circ}C]$  = temperatura rilevata

$\overline{Tr} = [^{\circ}C]$  = media delle temperature rilevate

$Ts = [^{\circ}C]$  = temperatura simulata

$n = [-]$  = intervalli

Per quanto riguarda i dati simulati, è possibile ricavare gli andamenti medi delle temperature di tutte le stanze direttamente da Design Builder, mentre per quanto riguarda i consumi è stato necessario ricavarli indirettamente dai valori di raffrescamento sensibile della stanza, attraverso la seguente formula:

$$Cs = \frac{Rs}{(COP * C)}$$

$Rs$  = raffrescamento sensibile di zona

$COP$  = coefficiente di prestazione = 4,5

$C$  = coefficiente correttivo

#### 6.3.4 Calibrazione manuale

Per quanto riguarda la calibrazione manuale, sono state effettuate diverse simulazioni e attraverso un metodo "trial and error" sono stati corretti, i parametri di infiltrazione, tasso di occupazione e ventilazione al fine di migliorare gli andamenti delle temperature e dei consumi ed ottenere valori di RMSE e CV(RMSE) minori.

## 6.4 Definizione degli scenari di riqualificazione e valutazione dell'influenza del comportamento degli occupanti

Per valutare l'influenza del comportamento degli occupanti è stato deciso di utilizzare due condizioni di utilizzo:

1. Condizione di utilizzo 1 (profili reali): i valori e i profili di utilizzo sono quelli ottenuti dal modello calibrato;
2. Condizione di utilizzo 2 (profili standard): partendo dalle condizioni del modello calibrato, i profili di utilizzo e i valori riguardanti la ventilazione e l'occupazione sono stati modificati in base alla normativa.

### 6.4.1 Condizioni di utilizzo 2 (profili standard)

- Valori e schedule riguardanti l'occupazione

Per quanto riguarda le condizioni dell'occupazione, si è deciso di far riferimento alla normativa UNI 11339, che prescrive, per edifici residenziali, un indice di affollamento pari a 0,04 p/mq.

È stato deciso quindi di impostare, in design builder, un tasso di occupazione costante pari a 0,04 persone/mq (schedule sempre al 100%).

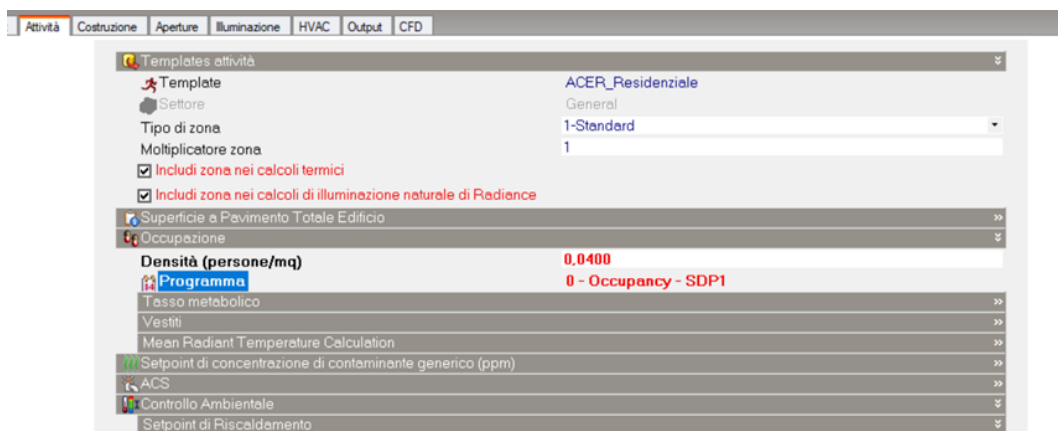


Figura 108 - Schermata DB - Tasso di occupazione – Schedule normativa

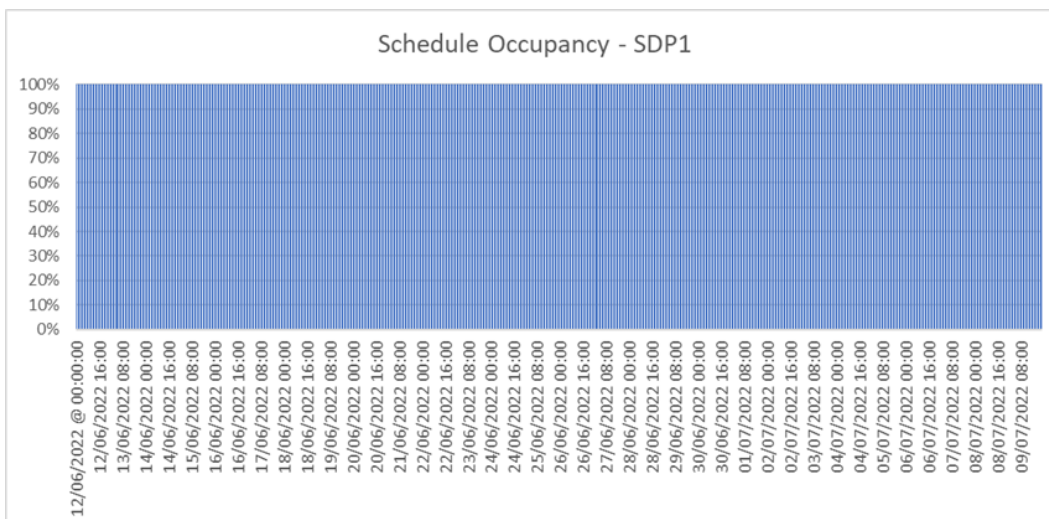


Figura 109 - Schedule occupazione da normativa

- **Valori e schedule di apertura e chiusura degli infissi**  
 Per la ventilazione naturale, la norma UNI TS 11300-1, prescrive un numero minimo di ricambi d'aria pari a 0,3 vol/h per gli edifici residenziali. Questo valore è stato assunto costante per la creazione delle schedule di apertura e chiusura degli infissi.

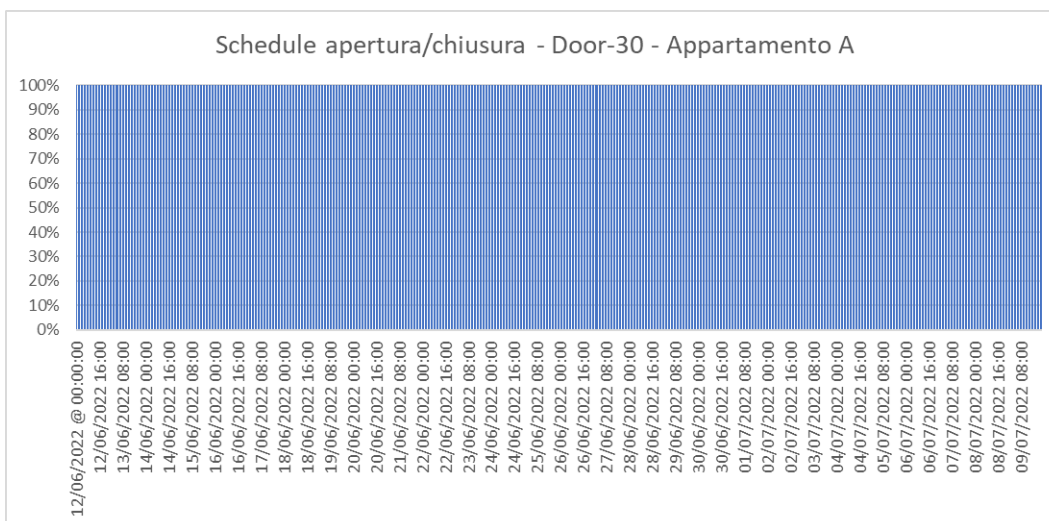


Figura 110 - Schedule di apertura e chiusura degli infissi da normativa

- Per i restanti valori e schedule, si è deciso di utilizzare quelli ricavati dai sensori:
  - File del meteo.epw ricavato dalla stazione meteo "LoRaWAN";

- Schedules di accensione e spegnimento impianti ricavate dal sensore “hvac-meter”;
- Schedules sulla posizione delle schermature ricavate dal sensore “Elsys ERS C02”.

#### 6.4.2 Simulazioni degli scenari di riqualificazione

Per le simulazioni degli scenari di riqualificazione, è stato deciso di utilizzare come parametro di valutazione la domanda di energia unitaria per raffrescamento richiesta dai singoli locali. In Design Builder, tale valore è definito come “Raffrescamento sensibile di zona”.

Data/Ora	Occupazione (kW)	Apporti Solari attraverso Finestre...	Riscaldamento Sensibile di Zon...	Raffrescamento Sensibile di Zon...	Vent Mecc + Vent Nat + Infiltrazi...
12/06/2002 00:10:00	6,025101E-03	0	0	0	0,602448
12/06/2002 00:20:00	6,047285E-03	0	0	0	0,603346
12/06/2002 00:30:00	6,075046E-03	0	0	0	0,604245
12/06/2002 00:40:00	6,104353E-03	0	0	0	0,605149
12/06/2002 00:50:00	6,133353E-03	0	0	0	0,606062
12/06/2002 01:00:00	6,161388E-03	0	0	0	0,606983
12/06/2002 01:10:00	0	0	0	0	0,607322
12/06/2002 01:20:00	0	0	0	0	0,607687
12/06/2002 01:30:00	0	0	0	0	0,608075
12/06/2002 01:40:00	0	0	0	0	0,608468
12/06/2002 01:50:00	0	0	0	0	0,608859
12/06/2002 02:00:00	0	0	0	0	0,609246
12/06/2002 02:10:00	3,766277E-03	0	0	0	0,609613

Figura 111 - Schermata DB - Raffrescamento sensibile di zona

# 7 Risultati

I risultati delle simulazioni possono essere suddivisi in:

- risultati della simulazione e calibrazione dello stato di fatto;
- risultati delle simulazioni degli scenari di riqualificazione per le condizioni di utilizzo 1 e 2.

## 7.1 Risultati della simulazione e calibrazione dello stato di fatto

### 7.1.1 Appartamento A

Condizioni:

- Il tasso di infiltrazione è stato posto pari a 0,8 vol/h;
- I condizionatori sono stati considerati spenti;
- Gli infissi con i sensori:
  - door 30, 31, 32, 34, 35, 36 sono stati considerati aperti;
  - door 33 è stato utilizzato il profilo di apertura e chiusura;
- Le schermature sono state considerate abbassate.

Risultati delle temperature del salotto:

- T media rilevata = 27,48 °C
- T media simulata = 28,60 °C
- RMSE = 1,558 °C

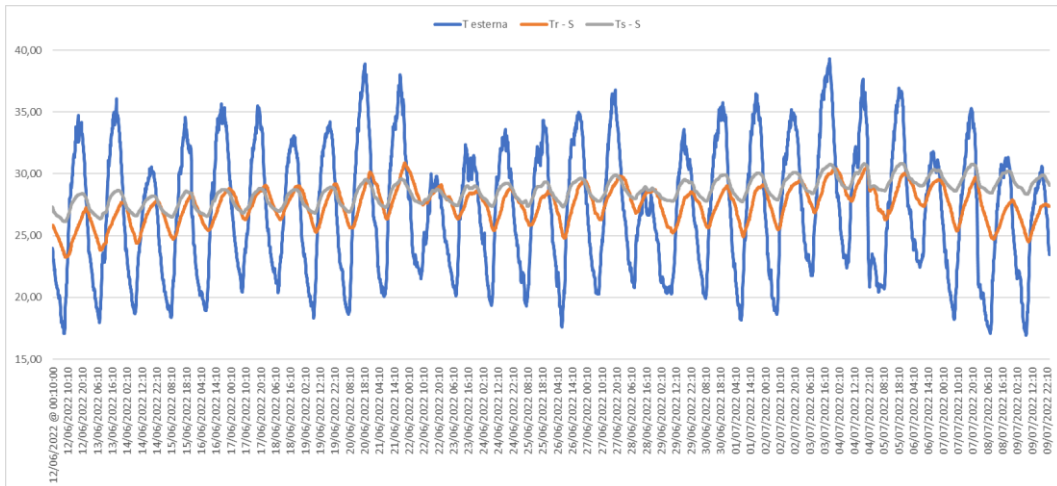


Figura 112 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento A

## 7.1.2 Appartamento E

Condizioni:

- Il tasso di infiltrazione è stato posto pari a 0,3 vol/h;
- I condizionatori sono stati considerati spenti;
- Gli infissi con i sensori door 37, 38, 39, 40 sono stati considerati chiusi;
- Le schermature sono state considerate abbassate.

Risultati delle temperature del salotto:

- T media rilevata = 30,81 °C
- T media simulata = 29,55 °C
- RMSE = 1,449 °C



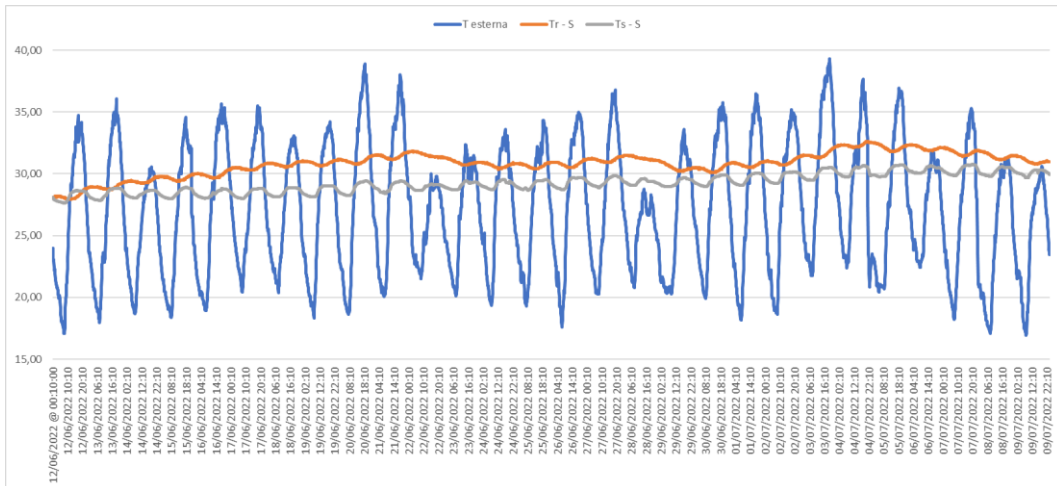


Figura 113 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento E

Risultati delle temperature della camera matrimoniale:

- T media rilevata = 30,78 °C
- T media simulata = 30,33 °C
- RMSE = 0,942 °C

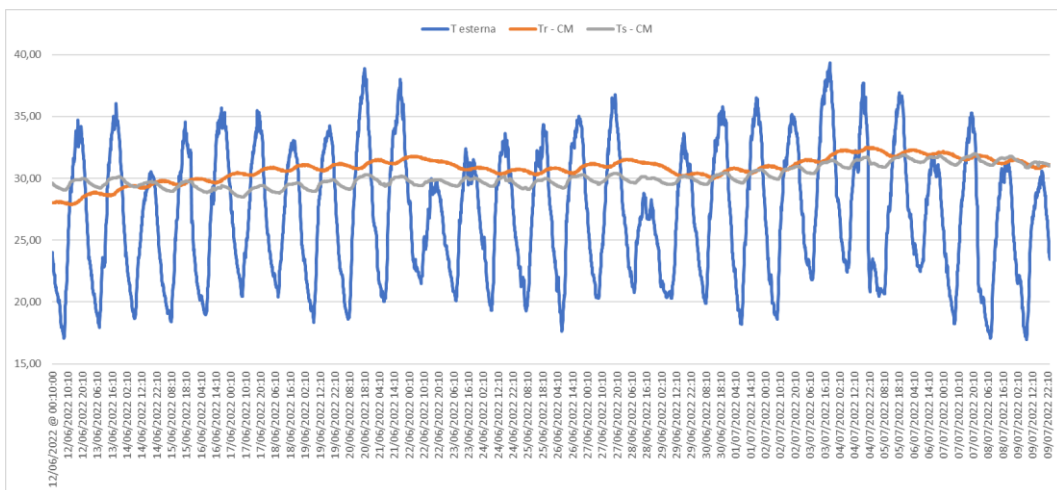


Figura 114 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento E

### 7.1.3 Appartamento C

Condizioni:

- Il tasso di infiltrazione è stato posto pari a 0,6 vol/h;
- Per l'Impianto di raffrescamento è stata utilizzata il profilo di accensione dell'impianto ricavato dal meter-10;

- Tutti gli infissi sono stati considerati chiusi;
- Le schermature sono state considerate abbassate.

#### Risultati delle temperature del salotto:

- T media rilevata = 28,47 °C
- T media simulata = 28,46 °C
- RMSE = 1,057 °C

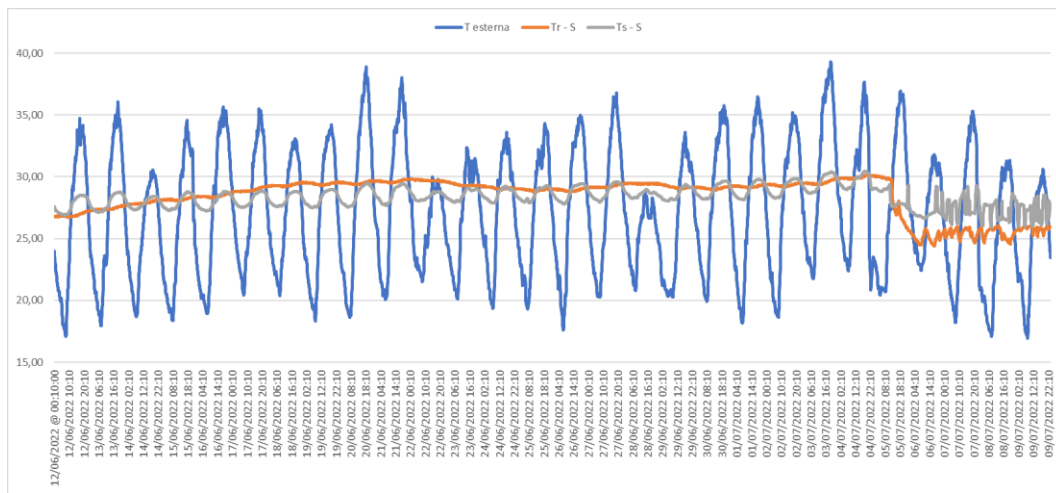


Figura 115 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento C

#### Risultati delle temperature della camera matrimoniale:

- T media rilevata = 28,96 °C
- T media simulata = 30,02 °C
- RMSE = 1,969 °C

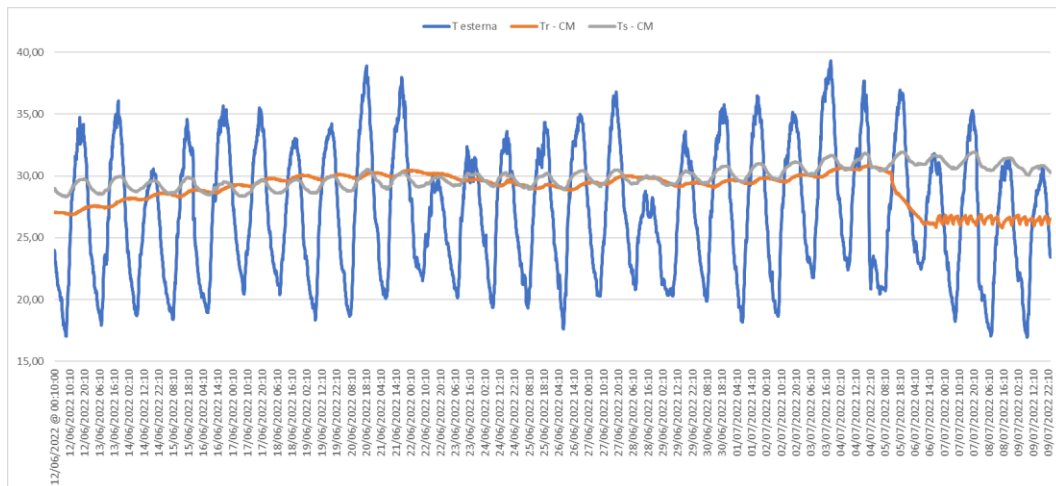


Figura 116 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento C

### Risultati delle temperature della camera singola 2:

- T media rilevata = 28,96 °C
- T media simulata = 29,73 °C
- RMSE = 2,034 °C

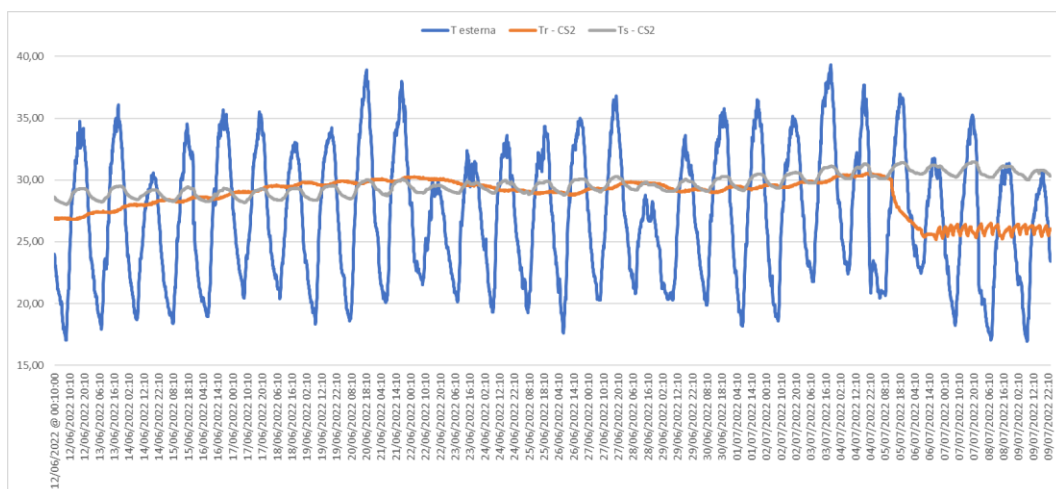


Figura 117 - Andamento delle temperature - Camera singola 2 - Appartamento C

### Risultati dei consumi dell'appartamento C:

- Consumo totale rilevato = 47,53 kWh
- Consumo totale simulato = 47,34 kWh
- CV(RMSE) = 42,42 %

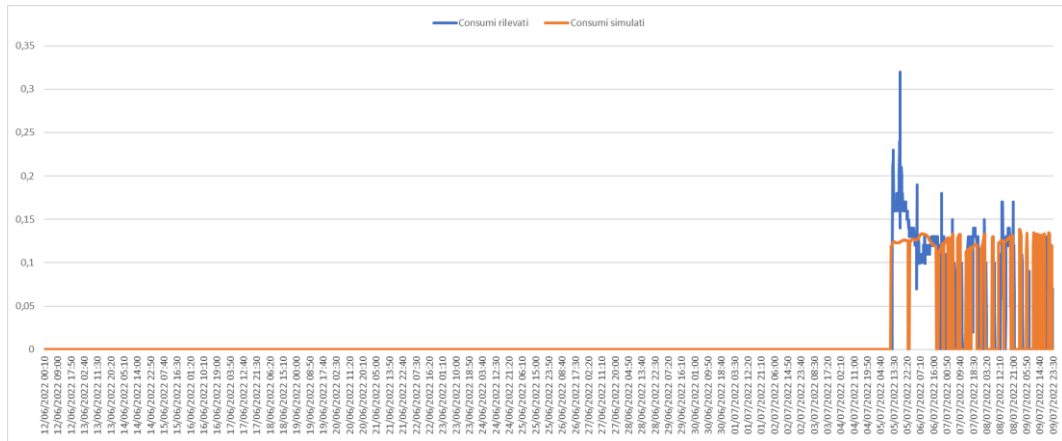


Figura 118 - Andamento dei consumi - Appartamento A

## 7.1.4 Appartamento B

Condizioni:

- Il tasso di infiltrazione è stato posto pari a 0,6 vol/h;
- Per l'Impianto di raffrescamento è stata utilizzato il profili di accensione ricavato dal meter-9;
- Per gli infissi con i sensori door 56, 42, 43, 44, 46, 47 sono stati utilizzati i profili di apertura e chiusura;
- Per le schermature sono stati considerati i profili di utilizzo.

Risultati delle temperature del salotto:

- T media rilevata = 28,31 °C
- T media simulata = 27,38 °C
- RMSE = 1,471 °C

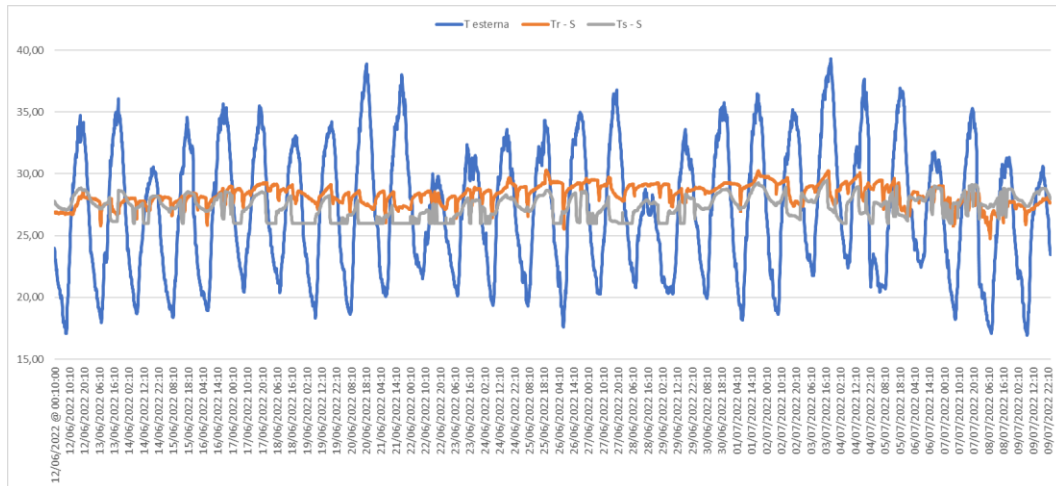


Figura 119 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento B

**Risultati delle temperature della camera matrimoniale:**

- T media rilevata = 28,79 °C
- T media simulata = 29,40 °C
- RMSE = 0,914 °C

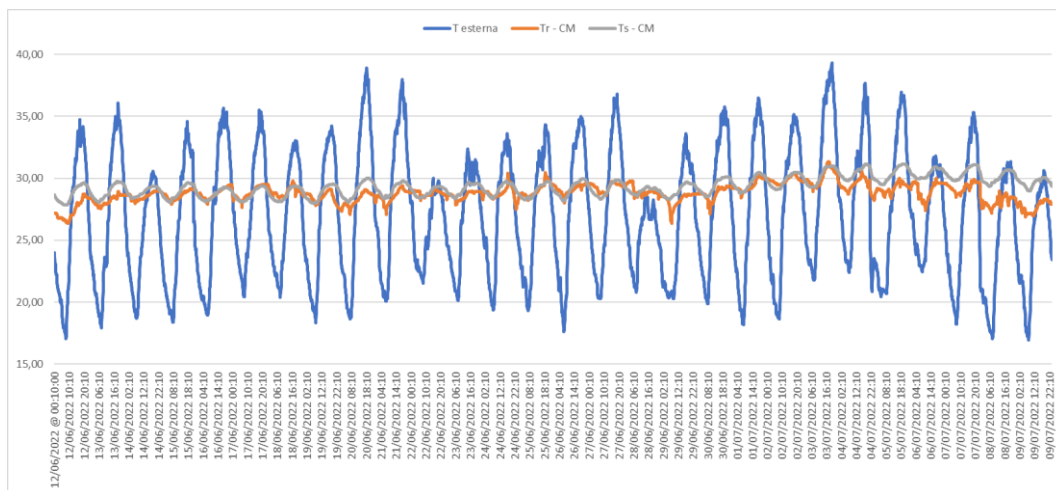


Figura 120 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento B

**Risultati delle temperature della camera doppia:**

- T media rilevata = 28,13 °C
- T media simulata = 29,36 °C
- RMSE = 1,557 °C

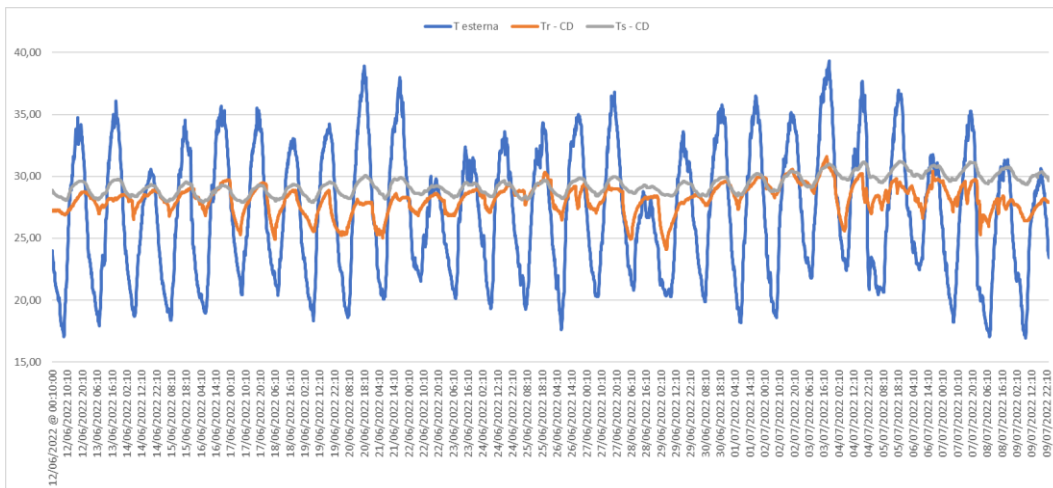


Figura 121 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento B

### Risultati dei consumi dell'appartamento B:

- Consumo totale rilevato = 117,31 kWh
- Consumo totale simulato = 116,17 kWh
- CV(RMSE) = 18,34 %

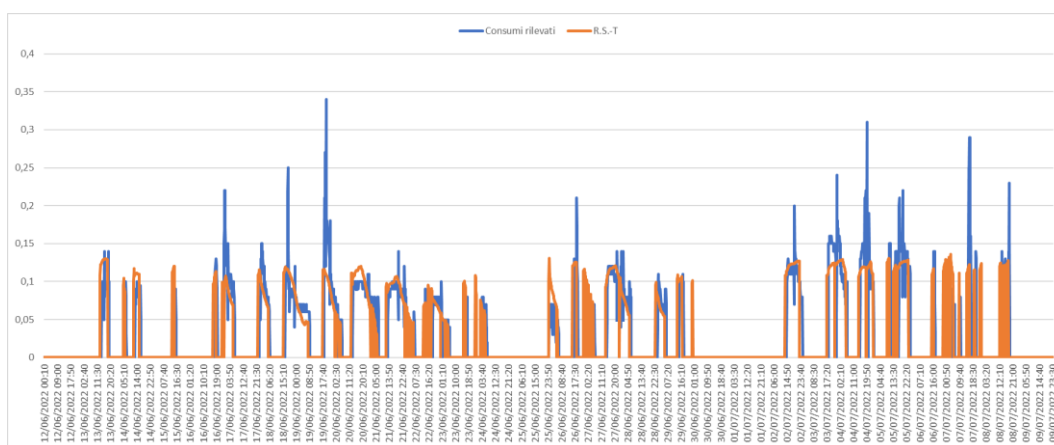


Figura 122 - Andamento dei consumi - Appartamento B

## 7.1.5 Appartamento D

### Condizioni:

- Il tasso di infiltrazione è stato posto pari a 0,6 vol/h;
- Per l'Impianto di raffrescamento è stata utilizzato il profilo di accensione dell'impianto ricavato dal meter-6;

- Per gli infissi con i sensori door 25, 26, 27, 28, 29, 57 sono stati utilizzati i profili di utilizzo;
- Per le schermature sono stati considerati i profili di utilizzo.

#### Risultati delle temperature del salotto:

- T media rilevata = 27,07 °C
- T media simulata = 26,64 °C
- RMSE = 1,133 °C

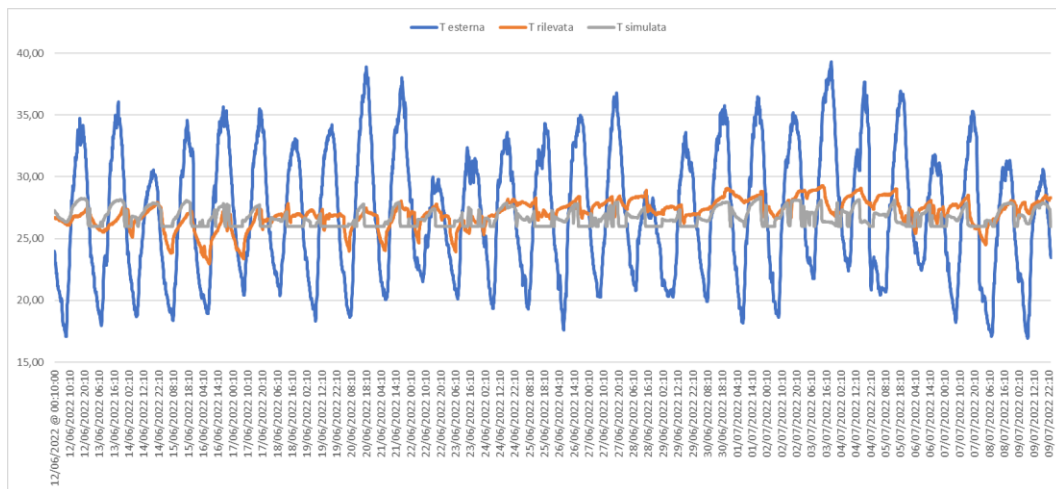


Figura 123 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento D

#### Risultati delle temperature della camera matrimoniale:

- T media rilevata = 26,99 °C
- T media simulata = 26,92 °C
- RMSE = 1,278 °C

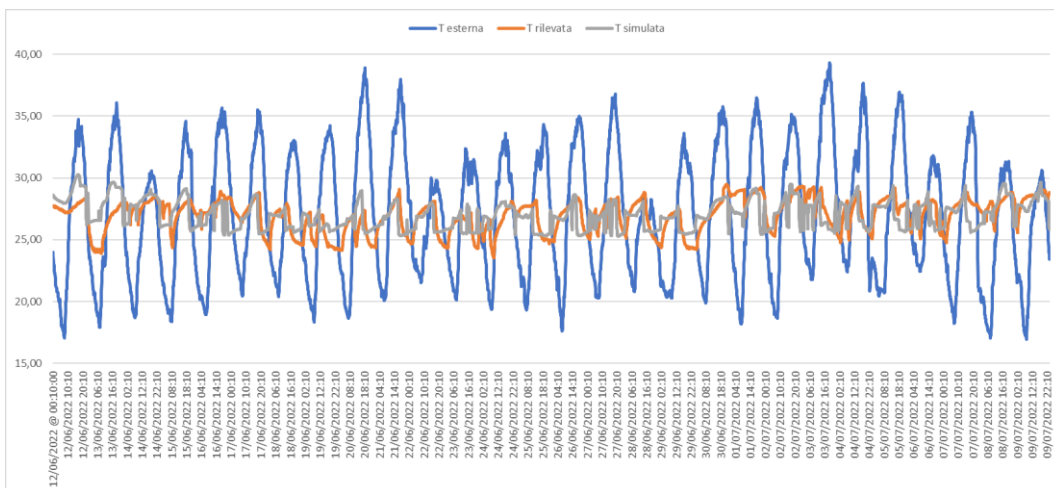


Figura 124 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento D

### Risultati dei consumi dell'appartamento D:

- Consumo totale rilevato = 177,00 kWh
- Consumo totale simulato = 169,57 kWh
- CV(RMSE) = 18,70 %

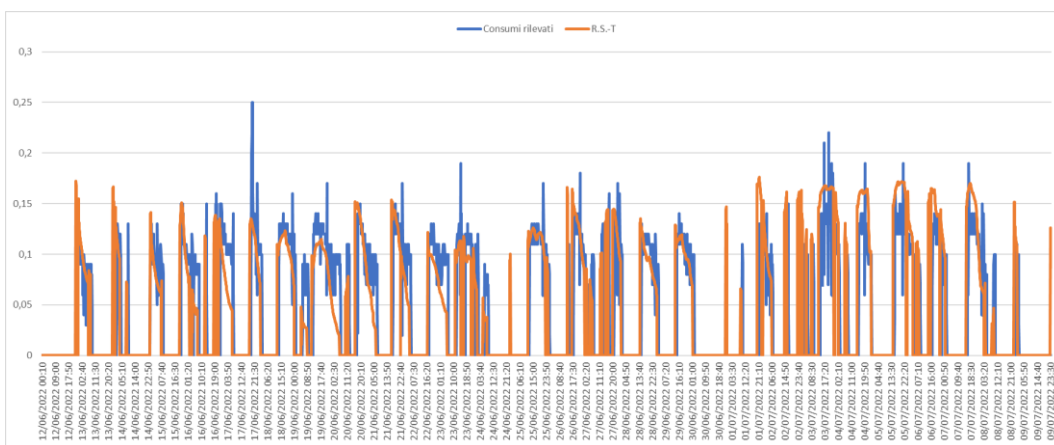


Figura 125 - Andamento dei consumi - Appartamento D



## 7.1.6 Analisi dei risultati

Nell tabella riepilogativa delle temperature e dei consumi, è possibile osservare, per ogni stanza monitorata, i seguenti valori:

- Tr = temperatura media rilevata = [°C]
- Ts = temperatura media simulata = [°C]
- RMSE = radice dell'errore quadratico medio = [°C]
- Infiltr. = infiltrazioni = [vol/h]
- Cr = consumi medi rilevati = [kWh]
- Cs = consumi medi simulati = [kWh]
- CV(RMSE) = radice dell'errore quadratico medio = [%]

Temperature					
Appartamento	Stanza	Tr [°C]	Ts [°C]	RMSE [°C]	Infiltr.
Appartamento A	A - Salotto	27,48	28,60	1,558	0,8
Appartamento E	E - Salotto	30,81	29,55	1,449	0,3
	E - Camera matrimoniale	30,78	30,33	0,942	0,3
Appartamento C	C - Salotto	28,47	28,46	1,057	0,6
	C - Camera matrimoniale	28,96	30,02	1,969	0,6
	C - Camera singola	28,73	29,73	2,034	0,6
Appartamento B	B - Salotto	28,31	27,38	1,471	0,6
	B - Camera matrimoniale	28,79	29,40	0,914	0,6
	B - Camera singola	28,13	29,36	1,557	0,6
Appartamento D	D - Salotto	27,07	26,64	1,133	0,6
	D - Camera matrimoniale	26,99	26,92	1,278	0,6

Figura 126 - Tabella riepilogativa delle temperature

Consumi				
Appartamento	Cr [kWh]	Cs [kWh]	CV(RMSE) [%]	Infiltr.
Appartamento B	117,31	116,80	18,34%	0,6
Appartamento D	177,00	169,17	18,70%	0,6
Appartamento C	47,53	47,34	42,42%	0,6

Figura 127 - Tabella riepilogativa dei consumi

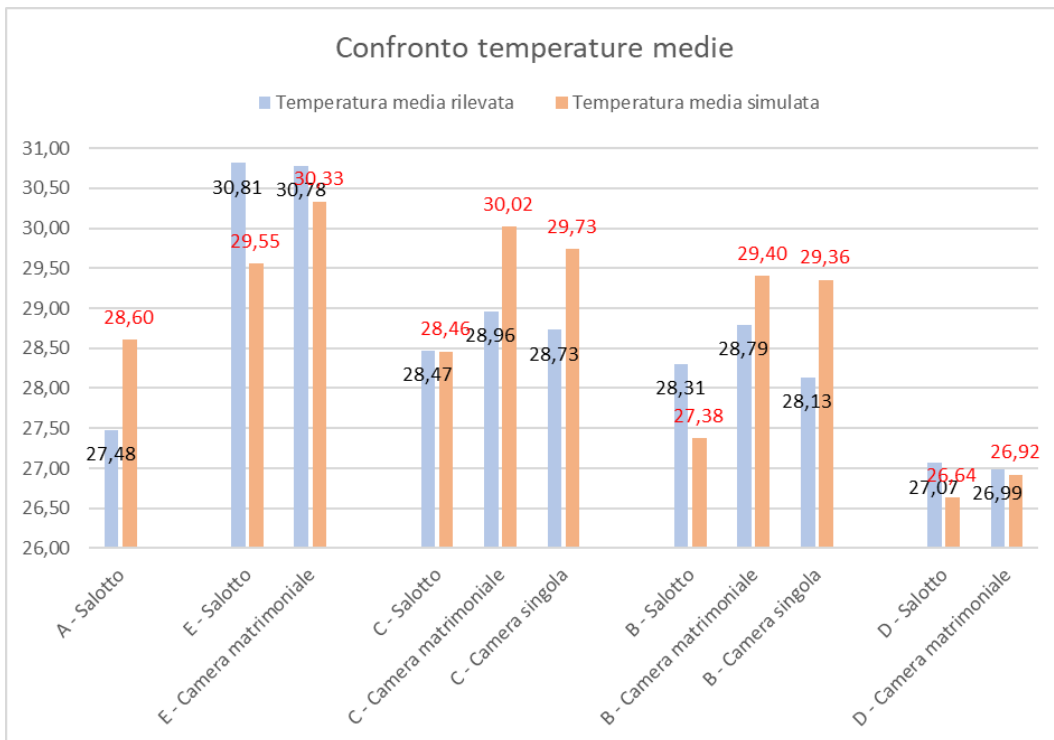


Figura 128 - Confronto temperature medie

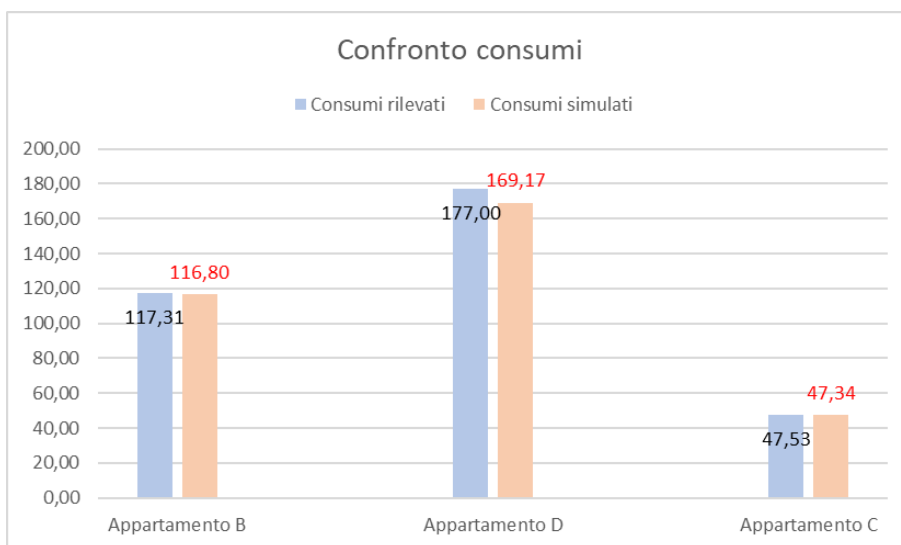


Figura 129 - Confronto consumi

È possibile osservare come per gli appartamenti A ed E, nei quali gli impianti sono spenti, otteniamo dei valori di RMSE delle temperature compresi tra 1,05 e 1,71 °C.

Per gli appartamenti B e D, in cui l'impianto è acceso in tutto il periodo di studio di studio, otteniamo dei valori di RMSE delle temperature compresi tra

0,88 e 1,51 °C. Invece per quanto riguarda i consumi, otteniamo dei valori di CV(RMSE) di circa il 18%.

L'appartamento C, in cui l'impianto risulta essere acceso solamente dopo il 5 luglio, otteniamo i risultati peggiori, con un RMSE delle temperature di 1,06 °C per il salotto e di circa 2,0 °C per la camera matrimoniale e singola. Per quanto riguarda i consumi, invece, i valori rilevati e simulati risultano essere equivalenti, mentre il CV(RMSE) ha un valore pari al 42,4 %.

	Giornaliero			
	$\Sigma Cr$	$\Sigma Cs$	Differenza	$(Ts-Tr)^2$
12/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
13/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
14/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
15/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
16/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
17/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
18/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
19/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
20/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
21/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
22/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
23/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
24/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
25/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
26/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
27/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
28/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
29/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
30/06/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
01/07/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
02/07/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
03/07/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
04/07/2022 23:50	0,000	0,000	0,000	0,000
05/07/2022 23:50	11,900	8,449	-3,451	11,913
06/07/2022 23:50	15,620	16,025	0,405	0,164
07/07/2022 23:50	7,860	8,416	0,556	0,309
08/07/2022 23:50	7,690	8,795	1,105	1,220
09/07/2022 23:50	4,460	5,415	0,955	0,912
Totale	47,53	47,10	RMSE	0,7201
Media	1,6975	1,682096	CV(RMSE)	42,4%

Figura 130 - Andamento dei consumi e calcolo del CV(RMSE) - Appartamento C

Dalla figura 125 è possibile osservare che la variazione maggiore tra i consumi simulati e rilevati si ha nella giornata del 5 luglio. Tale variazione provoca una notevole variazione del CV(RMSE).

	Giornaliero			
	$\Sigma Cr$	$\Sigma Cs$	Differenza	$(Ts-Tr)^2$
05/07/2022 23:50	11,900	8,449	-3,451	11,913
06/07/2022 23:50	15,620	16,025	0,405	0,164
07/07/2022 23:50	7,860	8,416	0,556	0,309
08/07/2022 23:50	7,690	8,795	1,105	1,220
09/07/2022 23:50	4,460	5,415	0,955	0,912
Totale	47,53	47,10	RMSE	1,7040
Media	9,506	9,420	CV(RMSE)	17,9%

Figura 131 - Andamento dei consumi e calcolo del CV(RMSE) - Appartamento C

Un ulteriore controllo è stato effettuato sul calcolo del CV(RMSE). È stato notato che considerando solamente il periodo in cui l'impianto risulta essere acceso, ovvero dal 5 al 9 luglio, si ottiene un valore di CV(RMSE) pari a 17,9%. Tale differenza è dovuta al differente valor medio dei consumi, che provoca una variazione del CV(RMSE) considerevole.

Per concludere, con riferimento ai risultati ottenuti dalla simulazione possiamo considerare gli appartamenti A ed E, con impianto spento, e B e D, con impianto attivo, calibrati.

Per quanto riguarda l'appartamento C, per quanto il CV(RMSE) risulta avere un valore elevato, gli andamenti e i valori dei consumi rilevati e simulati risultano differire in modo trascurabile. Per tale motivo anche l'appartamento C sarà considerato calibrato.

## 7.2 Risultati delle simulazioni degli scenari di riqualificazione

Nei risultati degli scenari di riqualificazione sono stati analizzati solamente gli appartamenti B, D e C, in quanto gli unici ad avere il condizionatore attivo nel periodo di simulazione.

La domanda totale di energia per raffreddamento è stata calcolata sommando le energie unitarie, espressa in kWh/mq, per il raffreddamento dei tre appartamenti.

### 7.2.1 Risultati globali delle simulazioni degli scenari di riqualificazione

Domanda di energia per raffreddamento				
U.M. [kWh/mq]	S1	S2	$\Delta$	$\Delta$ [%]
SDF	54,54	72,40	17,87	32,8%
SDP1	31,30	56,32	25,02	80,0%
SDP2	19,75	45,78	26,03	131,8%

Figura 132 - Domanda totale di energia per raffreddamento

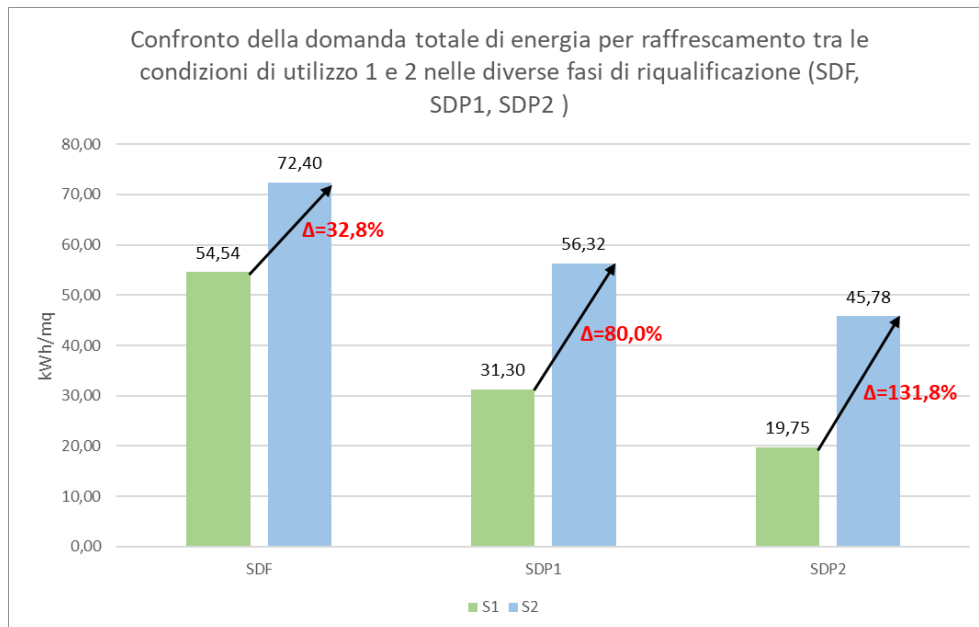


Figura 133 - Confronto della domanda totale di energia tra le condizioni di utilizzo 1 e 2

Nello stato di fatto, è possibile notare una differenza pari al 32,8% tra i valori ottenuti con le condizioni di utilizzo 1 (sensori) e 2 (standard).

Nello stato di progetto 1, nel quale è stato previsto il cappotto esterno e l'installazione di nuovi infissi, è stato possibile osservare come la differenza risulta essere pari a 80,0%.

Nello stato di progetto 2, per il quale è prevista la nuova copertura ventilata con tegole HEROTILE, la differenza tra le due condizioni risulta essere pari al 131,8%.

Considerando la domanda totale di energia per raffrescamento, risulta evidente come nelle fasi di riqualificazione la differenza in termini percentuali tra le due condizioni di utilizzo sono maggiori, passando dal 32,8% nello stato di fatto, all'80,8% nello stato di progetto 1 al 131,8% nello stato di progetto 2.

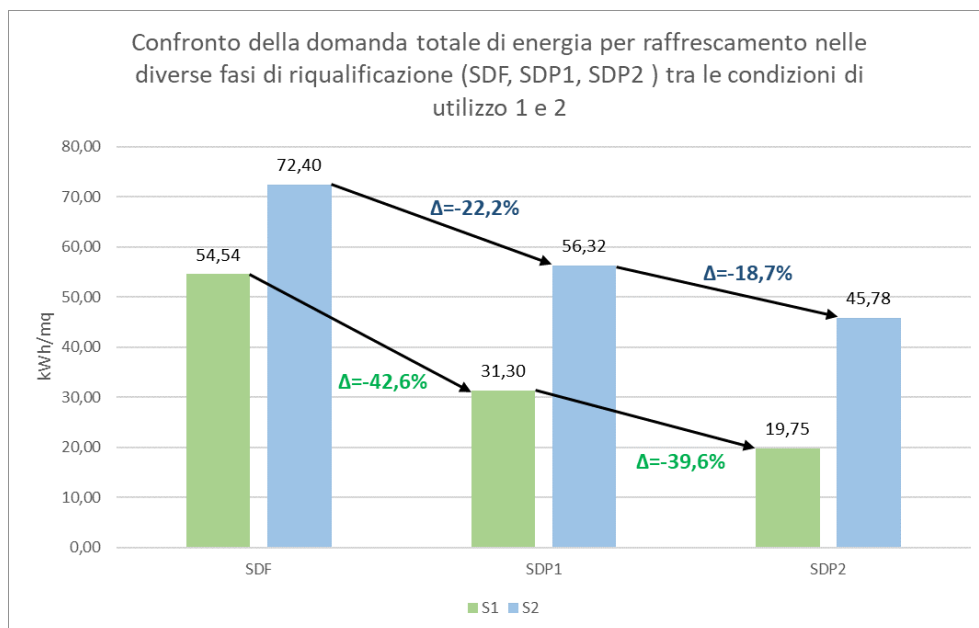


Figura 134 - Confronto della domanda totale di energia nelle diverse fasi di riqualificazione

Dai risultati ottenuti è stato possibile notare che nelle condizioni di utilizzo 1 (sensori), le differenze tra i valori ottenuti nelle diverse fasi di riqualificazione (stato di fatto, stato di progetto 1 e 2) risultano essere maggiori che nelle condizioni di utilizzo 2 (standard).

La differenza tra lo stato di progetto 1 e lo stato di fatto risulta essere pari al -42,6% per le condizioni di utilizzo 1 e -22,2% per le condizioni di utilizzo 2.

La differenza tra lo stato di progetto 2 e lo stato di progetto 1 risulta essere pari al 36,9% per le condizioni di utilizzo 1 e -18,7% per le condizioni di utilizzo 2.

## 7.2.2 Risultati delle simulazioni degli scenari per ogni appartamento

Domanda di energia per raffrescamento									
U.M. [kWh/mq]	App. B	$\Delta$	$\Delta$ [%]	App. D	$\Delta$	$\Delta$ [%]	App. C	$\Delta$	$\Delta$ [%]
<b>S1</b>									
SDF	22,57			24,32			7,65		
SDP1	13,19	-9,38	-41,6%	12,67	-11,65	-47,9%	5,44	-2,21	-28,9%
SDP2	8,12	-5,07	-38,5%	8,23	-4,44	-35,0%	3,40	-2,04	-37,5%
<b>S2</b>									
SDF	28,73			34,18			9,49		
SDP1	22,65	-6,08	-21,2%	26,02	-8,16	-23,9%	7,65	-1,84	-19,4%
SDP2	18,35	-4,30	-19,0%	20,88	-5,14	-19,8%	6,55	-1,10	-14,3%

Figura 135 - Tabella riepilogativa della domanda di energia per raffrescamento unitaria

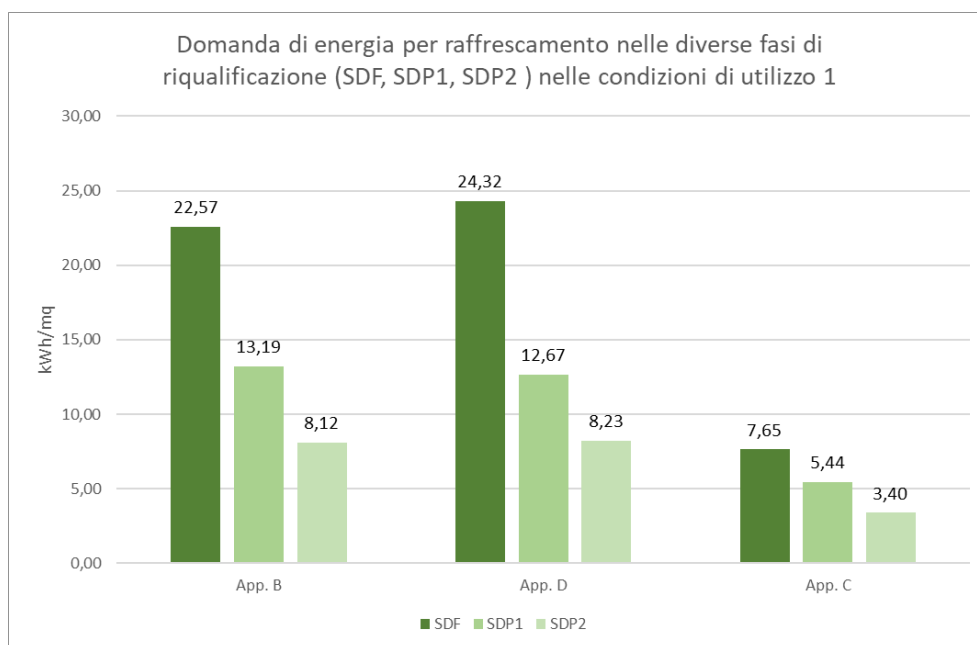


Figura 136 - Domanda di energia per raffrescamento - S1

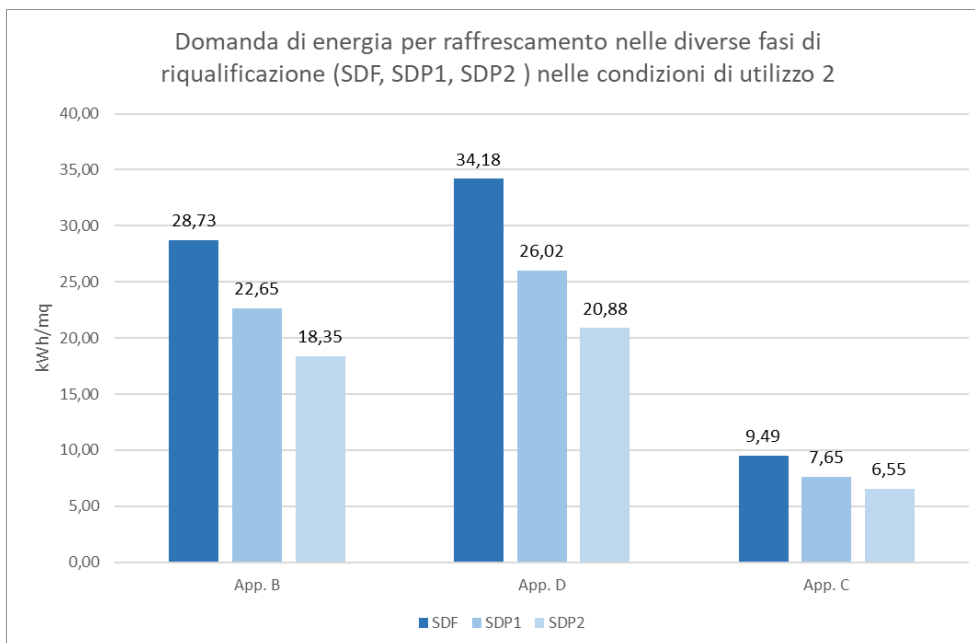


Figura 137 - Domanda di energia per raffrescamento - S2

### 7.2.2.1 Appartamento B

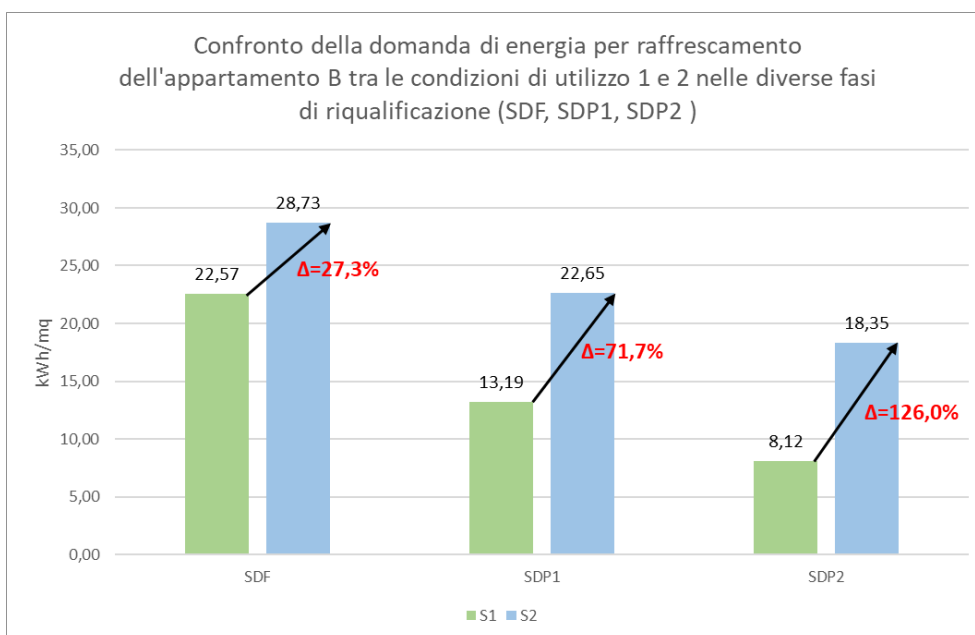


Figura 138 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento B tra le condizioni di utilizzo 1 e 2

Considerando la domanda di energia per raffrescamento dell'appartamento B, è possibile notare che nelle fasi di riqualificazione le differenze tra le due condizioni di utilizzo risultano essere maggiori, passando dal 27,3% nello



stato di fatto, all'71,7% nello stato di progetto 1 al 126,0% nello stato di progetto 2.

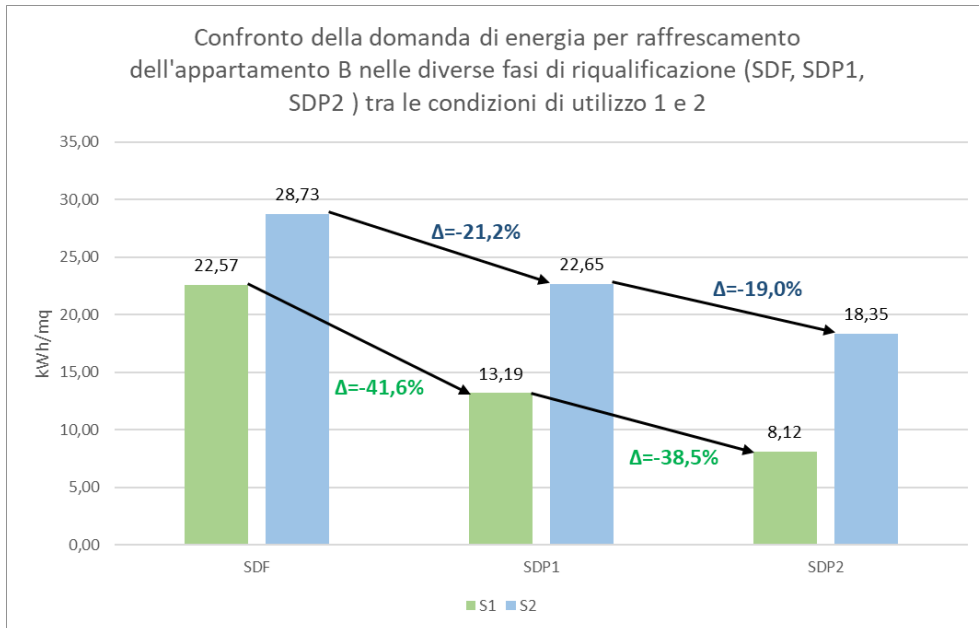


Figura 139 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento B tra le diverse fasi di riqualificazione

La differenza tra lo stato di progetto 1 e lo stato di fatto risulta essere pari al -41,6% per le condizioni di utilizzo 1 e -21,2% per le condizioni di utilizzo 2.

La differenza tra lo stato di progetto 2 e lo stato di progetto 1 risulta essere pari al -38,5% per le condizioni di utilizzo 1 e -19,0% per le condizioni di utilizzo 2.

### 7.2.2.2 Appartamento D

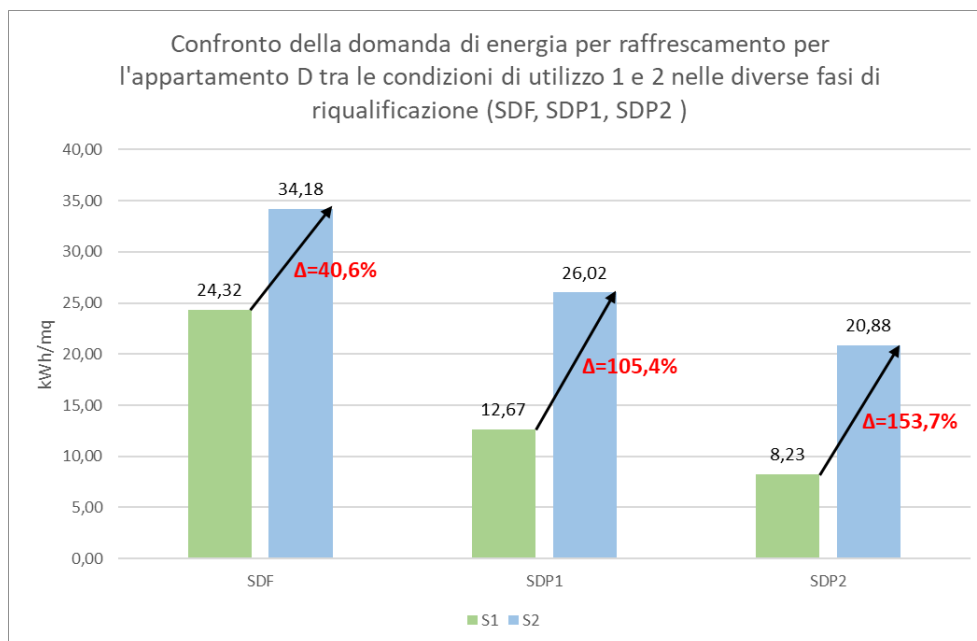


Figura 140 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento D tra le condizioni di utilizzo 1 e 2

Considerando la domanda di energia per raffrescamento dell'appartamento D, è possibile notare che nelle fasi di riqualificazione le differenze tra le due condizioni di utilizzo risultano essere maggiori, passando dal 40,6% nello stato di fatto, all'105,4% nello stato di progetto 1 al 153,7% nello stato di progetto 2.

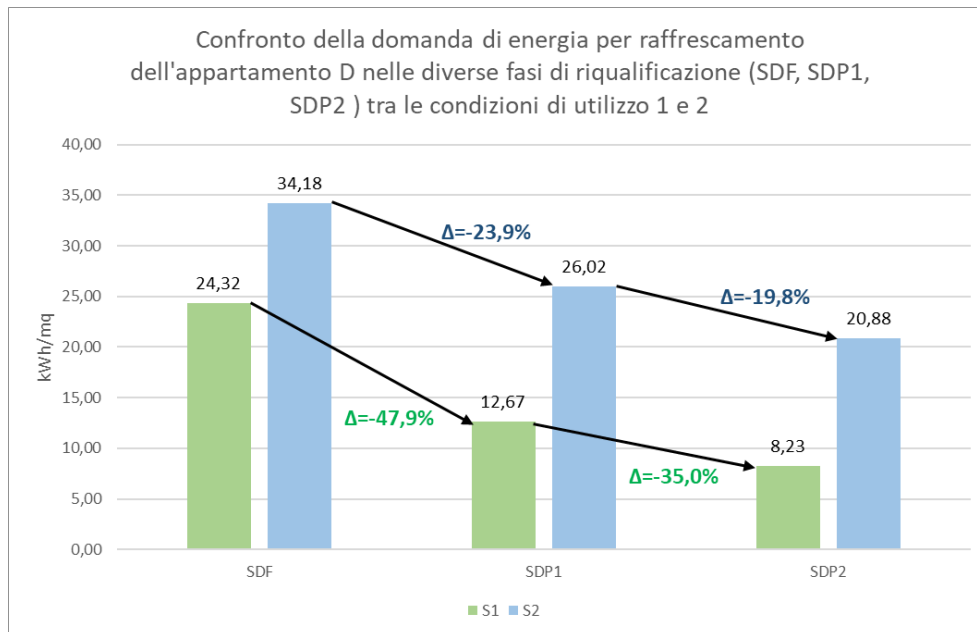


Figura 141 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento D tra le diverse fasi di riqualificazione

La differenza tra lo stato di progetto 1 e lo stato di fatto risulta essere pari al -47,9% per le condizioni di utilizzo 1 e -23,9% per le condizioni di utilizzo 2.

La differenza tra lo stato di progetto 2 e lo stato di progetto 1 risulta essere pari al -35,0% per le condizioni di utilizzo 1 e -19,8% per le condizioni di utilizzo 2.

### 7.2.2.3 Appartamento C

La domanda di energia per il raffrescamento dell'appartamento C risulta essere molto diversa dai valori ottenuti per gli appartamenti B e D perché per tale appartamento il condizionatore risulta essere acceso solamente dal 5 luglio, ovvero per solamente 5 giorni su 28.

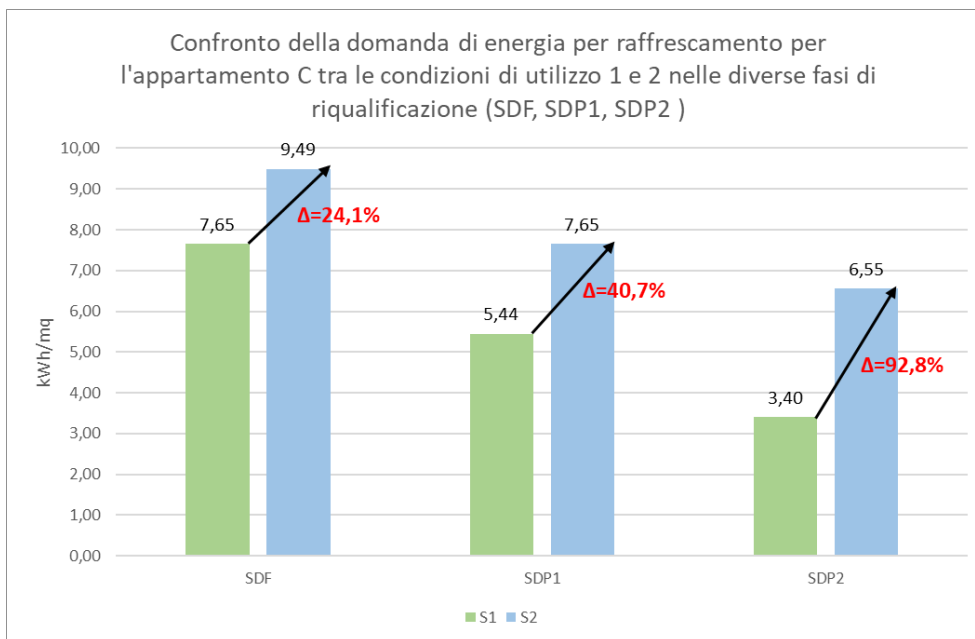


Figura 142 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento C tra le condizioni di utilizzo 1 e 2

Considerando la domanda di energia per raffrescamento dell'appartamento C, è possibile notare che nelle fasi di riqualificazione le differenze tra le due condizioni di utilizzo risultano essere maggiori, passando dal 24,1% nello stato di fatto, all'40,7% nello stato di progetto 1 al 92,8% nello stato di progetto 2.

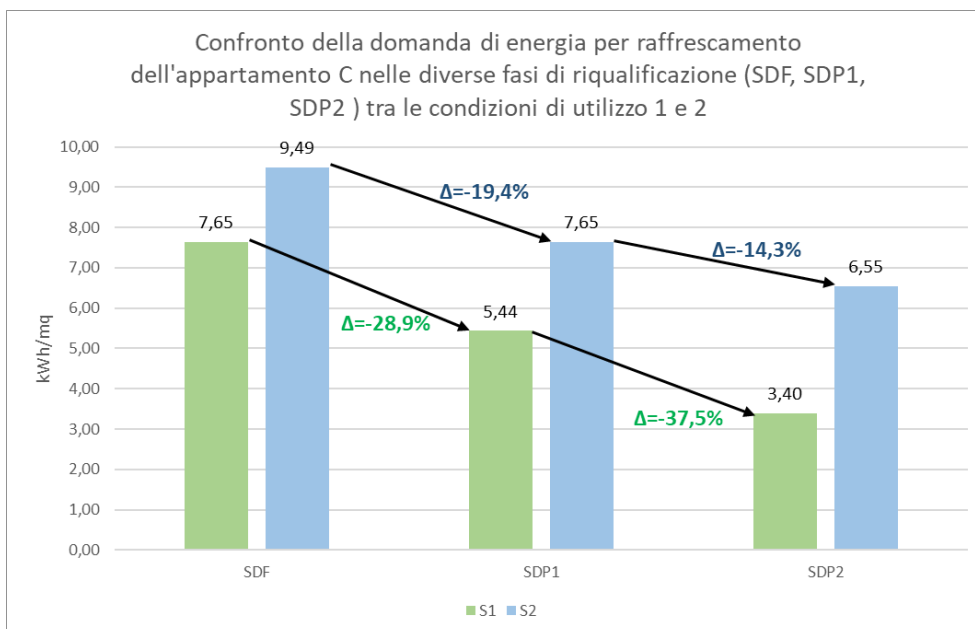


Figura 143 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento C tra le diverse fasi di riqualificazione

La differenza tra lo stato di progetto 1 e lo stato di fatto risulta essere pari al -28,9% per le condizioni di utilizzo 1 e -19,4% per le condizioni di utilizzo 2.

La differenza tra lo stato di progetto 2 e lo stato di progetto 1 è pari al -37,5% per le condizioni di utilizzo 1 e -14,3% per le condizioni di utilizzo 2.

## 8 Conclusioni

L'obiettivo di questa tesi è stato quello di analizzare l'effetto degli occupanti sulle simulazioni e sui modelli energetici, attraverso la realizzazione di un modello calibrato dell'edificio caso studio n.25 di Reggio Emilia.

Per realizzare il modello calibrato, l'edificio è stato monitorato attraverso dei sensori, dai quali è stato possibile ottenere dei profili di utilizzo specifici riguardanti l'accensione degli impianti, l'occupazione, l'apertura e chiusura degli infissi e l'utilizzo delle schermature.

Il modello calibrato è stato utilizzato come base per ottenere il modello dello stato di riqualificazione 1, per il quale è prevista l'installazione del cappotto esterno e la sostituzione degli infissi. Dal modello di riqualificazione 1 è stato ottenuto il modello dello stato di riqualificazione 2, per il quale è prevista l'installazione della copertura ventilata e traspirante costituita da tegole "HEROTILES".

Successivamente, sono state considerati due profili di utilizzo per i tre scenari: profili reali, ricavati dai sensori, e profili standard, ricavati dalla normativa.

Infine, è stato possibile confrontare la domanda di energia per raffrescamento nelle due condizioni e per i tre scenari di riqualificazione.

Dai risultati delle simulazioni è emerso che la domanda di energia nelle condizioni di utilizzo reale è stata minore rispetto alle condizioni standard e che, nelle fasi di riqualificazione 1 e 2, tale differenza risulta essere più accentuata.

Inoltre, nelle condizioni di utilizzo reali, le differenze tra le tre fasi di riqualificazione (stato di fatto, stato di progetto 1 e 2) sono risultate maggiori rispetto alle condizioni di utilizzo standard.

Tali differenze hanno permesso di valutare e rendere evidente come gli occupanti influenzino notevolmente la domanda di energia per raffrescamento nei diversi scenari di riqualificazione e, più in generale, nei modelli energetici degli edifici.

## 9 Bibliografia

[1] Gianluca Maracchini, Arianna Latini, Elisa Di Giuseppe, Andrea Gianangeli, Marco D'Orazio - The role of actual occupancy patterns and automatic model calibration in reducing the building energy performance gap, 2023

[2] [https://www.repubblica.it/economia/rapporti/osserva-italia/le-storie/2022/11/09/news/edilizia\\_in\\_italia\\_le\\_abitazioni\\_sono\\_responsabili\\_del\\_45\\_dei\\_consumi\\_energetici-373793922/](https://www.repubblica.it/economia/rapporti/osserva-italia/le-storie/2022/11/09/news/edilizia_in_italia_le_abitazioni_sono_responsabili_del_45_dei_consumi_energetici-373793922/) , 2023

[3] Giuliana Bonvicini, Elisa Di Giuseppe, Marco D'Orazio, Arianna Latini, Gianluca Maracchini - Tetto ventilato e permeabili con tegole in laterizio: l'innovazione di SUPERHERO , 2022

[4]

<https://www.ashrae.org/File%20Library/Conferences/Specialty%20Conferences/2018%20Building%20Performance%20Analysis%20Conference%20and%20SimBuild/Papers/C075.pdf>

[5] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821009415>

<https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/regression-analysis/rmse-root-mean-square-error/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square\\_deviation](https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square_deviation)

<https://kw-engineering.com/how-to-assess-a-regressions-predictive-power-energy-use/>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821009415>

<http://designbuilder.co.uk/helpv6.0/>

<https://www.ediltecnico.it/28598/uni-ts-11300-1-2-dettaglio-delle-novita-delle-versioni-2014/>

<https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/#what>

<https://www.elsys.se/en/ers-co2/>



## 10 Indice delle immagini

Figura 1 - Edifici caso studio del progetto "Life Superhero".....	9
Figura 2 - Tabella con valori limite per la calibrazione dei consumi energetici .....	13
Figura 3 - Vista aerea edificio "caso studio" n. 2.....	20
Figura 4 - Vista da terra edificio "caso studio" .....	21
Figura 5 - Pianta Piano 1 .....	21
Figura 6 - Pianta piano 2.....	22
Figura 7 - Pianta piano copertura .....	22
Figura 8 - Prospetti Nord e Sud .....	23
Figura 9 - Prospetti Ovest ed Est .....	23
Figura 10 - Caratteristiche tecniche della parete esterna (M1) .....	24
Figura 11 - Caratteristiche tecniche delle pareti divisorie (M2 e M4) .....	25
Figura 12 - Caratteristiche tecniche delle pareti di separazione (M3) .....	25
Figura 13 - Caratteristiche tecniche delle porte di ingresso (M5) .....	26
Figura 14 - Caratteristiche tecniche del pavimento di interpiano (P1).....	26
Figura 15 - Caratteristiche tecniche del pavimento sopra al vespaio (P2) ....	27
Figura 16 - Caratteristiche tecniche della copertura (P3) .....	28
Figura 17 - Caratteristiche tecniche degli infissi .....	28
Figura 18 - Caratteristiche tecniche della portafinestra W5.....	29
Figura 19 - Caratteristiche tecniche del cappotto esterno (M1) .....	30
Figura 20 - Caratteristiche tecniche delle nuove porte di ingresso (M5).....	30
Figura 21 - Caratteristiche tecniche dei nuovi infissi .....	31
Figura 22 - Caratteristiche tecniche della portafinestra W5 .....	32
Figura 23 - Pianta della copertura nello stato di progetto 2 .....	33
Figura 24 - Prospetti Nord e Sud nello stato di progetto 2.....	34
Figura 25 - Prospetti Ovest ed Est nello stato di progetto 2 .....	34
Figura 26 - Stratigrafia copertura - SDP2 .....	35
Figura 27 - Pianta dei sensori - Appartamento A.....	36
Figura 28 - Pianta dei sensori - Appartamento E.....	37

Figura 29 - Pianta dei sensori - Appartamento C .....	37
Figura 30 - Pianta dei sensori - Appartamento B.....	38
Figura 31 - Pianta dei sensori - Appartamento D.....	38
Figura 32 - Dati acquisiti dalla stazione meteorologica.....	39
Figura 33 - Dati acquisiti dal sensore per il monitoraggio dei consumi .....	39
Figura 34 - Dati acquisiti dal sensore per il monitoraggio delle stanze.....	40
Figura 35 - Dati acquisiti dal sensore per controllare apertura/chiusura degli infissi.....	41
Figura 36 - Creazione di un nuovo file.....	42
Figura 37 - Schermata DB - Nuovo progetto.....	43
Figura 38 - Schermata DB - Nuovo edificio.....	43
Figura 39 - Schermata DB - Nuovo edificio .....	44
Figura 40 - Schermata DB - Inserimento DXF.....	45
Figura 41 - Schermata DB - Inserimento DXF.....	45
Figura 42 - Schermata DB - Inserimento blocco .....	46
Figura 43 - Schermata DB - Inserimento blocco .....	46
Figura 44 - Schermata DB - Modellazione finestre .....	47
Figura 45 - Schermata DB - Modellazione vetri.....	47
Figura 46 - Schermata DB - Modellazione telaio.....	48
Figura 47 - Schermata DB - Modellazione balconi Nord.....	49
Figura 48 - Schermata DB - Modellazione balconi SUD.....	49
Figura 49 - Schermata DB - Modellazione raffrescamento .....	51
Figura 50 - Schermata DB - Modellazione condizionatori.....	52
Figura 51 - Schermata DB - Modellazione edifici e oggetti adiacenti .....	53
Figura 52 - Schermata DB - Modellazione degli occupanti .....	54
Figura 53 - Schermata DB - Modellazione ventilazione apertura/chiusura infissi.....	55
Figura 54 - Schermata DB - Modellazione delle infiltrazioni.....	55
Figura 55 - Andamento temperatura esterna nel periodo studio.....	56
Figura 56 -File base .epw .....	57
Figura 57 - Schermata di Elements.....	58

Figura 58 - Schermata utility "Energy Plus Wheater Converter" .....	58
Figura 59 - Grafico dei consumi rilevati con il sensore "meter" .....	59
Figura 60 - Grafico della potenza istantanea .....	59
Figura 61 - Profilo di accensione dell'impianto .....	60
Figura 62 - Grafico delle rilevazioni del sensore PIR .....	61
Figura 63 - Profilo di occupazione .....	61
Figura 64 - Grafico del sensore "door" .....	62
Figura 65 - Profilo di apertura e chiusura dell'infisso.....	63
Figura 66 - Grafico del sensore "Light .....	63
Figura 67 - Grafico profili delle schermature.....	64
Figura 69 - Profilo di occupazione - 13/06 - Salotto - Appartamento D.....	65
Figura 70 - Schermata DB - Inserimento profilo di occupazione .....	65
Figura 71 - Pianta P1 .....	66
Figura 72 - Pianta P2.....	67
Figura 73 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento A .....	68
Figura 74 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento A.....	68
Figura 75 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - Door 30/31/32/34/35/36 - Appartamento A.....	69
Figura 76 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - Door 32 - Appartamento A.....	69
Figura 77 - Profili delle schermature - Salotto - Appartamento A.....	70
Figura 78 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento E .....	70
Figura 79 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento E.....	71
Figura 80 - Profilo di occupazione - Camera matrimoniale - Appartamento E .....	71
Figura 81 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 37/38/39/40 - Appartamento E .....	71
Figura 82 - Profili delle schermature - Appartamento E .....	72
Figura 83 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento C .....	72
Figura 84 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento C .....	73

Figura 85 - Profilo di occupazione - Camera matrimoniale - Appartamento C .....	73
Figura 86 - Profilo di occupazione - Camera singola 2 - Appartamento C....	73
Figura 87 - Profilo delle schermature - Appartamento C.....	74
Figura 88 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento B.....	74
Figura 89 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento B.....	75
Figura 90 - Profilo di occupazione - Camera matrimoniale - Appartamento B .....	75
Figura 91 - Profilo di occupazione - Camera doppia - Appartamento B .....	75
Figura 92 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 56 - Appartamento B.....	76
Figura 93 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 42 - Appartamento B.....	76
Figura 94 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 43/45 - Appartamento B.....	76
Figura 95 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 44 - Appartamento B.....	77
Figura 96 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 46 - Appartamento B.....	77
Figura 97 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 47 - Appartamento B.....	77
Figura 98 - Profili delle schermature - Appartamento B.....	78
Figura 99 - Profilo di accensione dell'impianto - Appartamento D .....	78
Figura 100 - Profilo di occupazione - Salotto - Appartamento D.....	79
Figura 101 - Profilo di occupazione - Camera matrimoniale - Appartamento D .....	79
Figura 102 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 25 - Appartamento D.....	79
Figura 103 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 26 - Appartamento D.....	80

Figura 104 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 26 - Appartamento D.....	80
Figura 105 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 28 - Appartamento D.....	80
Figura 106 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 29 - Appartamento D.....	81
Figura 107 - Profili di apertura e chiusura degli infissi - door 57 - Appartamento D.....	81
Figura 108 - Profili delle schermature - Appartamento D .....	82
Figura 109 - Schermata DB - Tasso di occupazione - Schedule normativa .	84
Figura 110 - Schedule occupazione da normativa .....	85
Figura 111 - Schedule di apertura e chiusura degli infissi da normativa .....	85
Figura 112 - Schermata DB - Raffrescamento sensibile di zona .....	86
Figura 113 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento A.....	88
Figura 114 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento E.....	89
Figura 115 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento E .....	89
Figura 116 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento C.....	90
Figura 117 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento C .....	91
Figura 118 - Andamento delle temperature - Camera singola 2 - Appartamento C .....	91
Figura 119 - Andamento dei consumi - Appartamento A.....	92
Figura 120 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento B.....	93
Figura 121 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento B.....	93
Figura 122 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento B.....	94
Figura 123 - Andamento dei consumi - Appartamento B.....	94
Figura 124 - Andamento delle temperature - Salotto - Appartamento D.....	95

Figura 125 - Andamento delle temperature - Camera matrimoniale - Appartamento D.....	96
Figura 126 - Andamento dei consumi - Appartamento D.....	96
Figura 127 - Tabella riepilogativa delle temperature .....	97
Figura 128 - Tabella riepilogativa dei consumi.....	97
Figura 129 - Confronto temperature medie.....	98
Figura 130 - Confronto consumi .....	98
Figura 131 - Andamento dei consumi e calcolo del CV(RMSE) - Appartamento C.....	99
Figura 132 - Andamento dei consumi e calcolo del CV(RMSE) - Appartamento C.....	100
Figura 133 - Domanda totale di energia per raffrescamento .....	101
Figura 134 - Confronto della domanda totale di energia tra le condizioni di utilizzo 1 e 2.....	101
Figura 135 - Confronto della domanda totale di energia nelle diverse fasi di riqualificazione.....	102
Figura 136 - Tabella riepilogativa della domanda di energia per raffrescamento unitaria .....	103
Figura 137 - Domanda di energia per raffrescamento - S1.....	103
Figura 138 - Domanda di energia per raffrescamento - S2.....	104
Figura 139 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento B tra le condizioni di utilizzo 1 e 2.....	104
Figura 140 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento B tra le diverse fasi di riqualificazione .....	105
Figura 141 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento D tra le condizioni di utilizzo 1 e 2.....	106
Figura 142 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento D tra le diverse fasi di riqualificazione .....	107
Figura 143 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento C tra le condizioni di utilizzo 1 e 2.....	108

**Figura 144 - Confronto della domanda di energia dell'appartamento C tra le diverse fasi di riqualificazione .....108**