



Ricerca di Sistema elettrico

# Sviluppo di un simulatore rete di edifici residenziali e implementazione preliminare di un modello di smart district

Gabriele Comodi, Alessandro Fonti

## SVILUPPO DI UN SIMULATORE RETE DI EDIFICI RESIDENZIALI E IMPLEMENTAZIONE PRELIMINARE DI UN MODELLO DI SMART DISTRICT

Gabriele Comodi, Alessandro Fonti (Università Politecnica delle Marche)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: Smart Homes Network

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sviluppo di un simulatore rete di edifici residenziali e implementazione preliminare di un modello di smart district"

Responsabile scientifico ENEA: Arch. Sabrina Romano

Responsabile scientifico Università Politecnica delle Marche: Prof. Gabriele Comodi

Gli autori desiderano ringraziare l'ing. Sebastiano Tomassetti per la preziosa collaborazione.

## Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
1 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
1.1 MODELLAZIONE DI USE CASE DI APPARTAMENTI RESIDENZIALI.....	5
1.1.1 <i>Sviluppo di un simulatore della domanda di energia elettrica</i> .....	7
1.1.2 <i>Sviluppo di un simulatore della domanda di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento</i> .....	37
1.1.3 <i>Aggregazione della domanda di energia a livello di rete di edifici residenziale</i> .....	62
1.2 SIMULAZIONE DI DIFFERENTI SCENARI DI MONITORAGGIO .....	85
1.3 DEFINIZIONE DEL DATA MODEL DI UNO SMART DISTRICT .....	92
2 CONCLUSIONI.....	94
3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	95
4 CURRICULUM VITAE .....	96
4.1 GABRIELE COMODI .....	96
4.2 ALESSANDRO FONTI.....	96

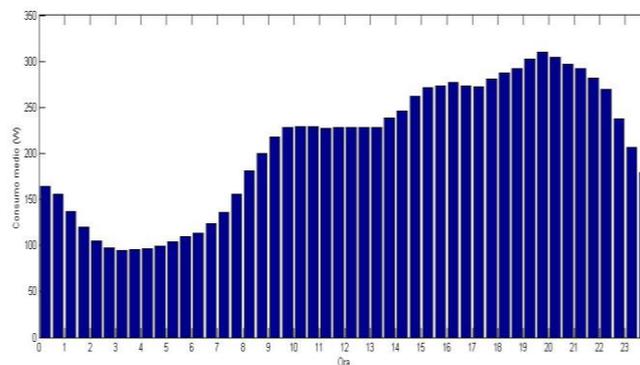
## Sommario

L'attività svolta in questa annualità dall'Università Politecnica delle Marche, in collaborazione con ENEA, è stata quella di sviluppare un simulatore della domanda di energia elettrica e termica in ambito residenziale che permetta, in futuro, di studiare e testare in simulazione strategie di gestione e controllo per il demand-response e il demand side management su un elevato numero di utenze. Tali strategie possono essere utili ad un potenziale aggregatore di alto livello che potrà andare ad attuare, successivamente, tali politiche presso i propri clienti finali.

Sono stati sviluppati due simulatori separati: il simulatore della domanda di energia elettrica sviluppato con un approccio puramente statistico ed il simulatore della domanda di energia termica sviluppato modellando delle tipologie caratteristiche di appartamento (casi d'uso) mediante Energy plus. La differenza di metodologia di modellazione si riflette anche nella fase di aggregazione dei carichi a livello di distretto. Infatti, il simulatore di carico elettrico definisce inizialmente il numero di utenze da simulare e poi il simulatore genera delle curve di carico in base alle statistiche inserite dall'operatore: in questo contesto, la simulazione dei carichi di ciascun appartamento nasce contestualmente alla simulazione del carico aggregato. Per il simulatore termico vengono inizialmente definiti dei casi d'uso di appartamenti (anno di costruzione/struttura, superficie, tipologia di impianto, profilo di presenza) che sono successivamente aggregati in base alle statistiche del parco edilizio che si intende modellare.

Lo strumento e la metodologia sviluppata si sono dimostrate molto valide nel rappresentare il carattere aleatorio dell'andamento della domanda di energia elettrica ed il carattere più deterministico della domanda di energia termica. Inoltre, lo strumento risulta essere abbastanza flessibile ed in grado di poter testare, in futuro, logiche di demand-response su distretti residenziali.

Il simulatore di consumi elettrici aggregati è anche utile per definire potenziali KPI per i consumi di distretto. Questi KPI permetteranno di definire benchmark tra appartamenti utili per la valutazione di politiche di feed-back verso l'utente. La figura sottostante mostra uno dei principali output del simulatore di domanda di energia elettrica.



**Consumo orario medio (media giornaliera su 2 anni e 200 appartamenti)**

Il simulatore della domanda di energia termica è stato anche utilizzato per valutare differenti scenari di monitoraggio ed attuazione all'interno degli appartamenti. Tale valutazione è stata fatta per la tipologia di appartamenti statisticamente più diffusa a Roma; gli scenari simulati sono stati: appartamento senza termostato (accensione e spegnimento manuali); installazione di termostato; installazione di valvole di termoregolazione; utilizzo del termostato con temperature conservative. La simulazione ha dimostrato come tutte le misure intraprese vadano a ridurre i consumi finali dell'appartamento con un beneficio marginale tanto più alto quanto peggiore è la situazione di partenza che si intende andare a migliorare.

L'ultima attività di questa annualità è stata la progettazione dei possibili data model che possono essere impiegati per la gestione delle informazioni fra i diversi smart agent di controllo e di analisi dati. In particolare sono stati distinti lo smart agent di primo livello, che agisce a livello di appartamento (domotica), e gli smart agent di secondo livello che agiscono a livello di condominio, di quartiere, di distretto, di città e

di aggregatore. Questi ultimi devono essere customizzabili aggiungendo o rimuovendo funzionalità in base al modello di demand-response che si vuole implementare.

## Introduzione

Il Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA hanno stipulato in data XXX un Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale. Il presente allegato tecnico si riferisce al Piano Annuale di Realizzazione 2015, per quanto attiene all'Area "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori energetici", tematica di ricerca "Smart Cities & Communities"; nello specifico, si riferisce all'obiettivo "b- Smart Homes Network" del progetto "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano". I temi sviluppati nell'ambito del presente accordo di collaborazione tra ENEA e l'Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche, riguardano lo sviluppo di un simulatore di una rete di edifici residenziali per l'analisi di differenti use case e la definizione del data model di uno smart district residenziale.

## 1 Descrizione delle attività svolte e risultati

Le linee di attività di questa annualità sono state:

1. Modellazione di use case di appartamenti residenziali
  - a. Sviluppo di un simulatore della domanda di carichi elettrici;
  - b. Sviluppo di un simulatore della domanda di carichi termici;
  - c. Aggregazione dei consumi a livello di distretto;
2. Simulazione di differenti scenari di monitoraggio
3. Definizione del data model di uno smart district

### 1.1 Modellazione di use case di appartamenti residenziali

In questa annualità sono stati sviluppati due simulatori, uno per la domanda di energia elettrica, l'altro per la domanda di energia termica. I simulatori si basano su modelli differenti per questo sono stati trattati in maniera separata. In particolare, il simulatore elettrico è stato sviluppato con un approccio puramente statistico mentre per il simulatore termico è stata sviluppata una metodologia che modellasse delle tipologie caratteristiche di appartamento, ma il cuore della simulazione viene elaborato in Energy plus, il software open source sviluppato dal Dipartimento Energy statunitense.

La differenza di metodologia di modellazione si riflette anche nella successiva fase di aggregazione dei carichi a livello di distretto. Infatti, il simulatore di carico elettrico nasce proprio con l'intento di simulare consumi elettrici di un gran numero di utenze; per questo motivo si definisce inizialmente il numero di utenze da simulare e poi il simulatore genera delle curve di carico in base alle statistiche (elettrodomestici, ore di accensione...) inserite dall'operatore; in questo contesto, la simulazione dei carichi di ciascun appartamento nasce contestualmente alla simulazione del carico aggregato.

Per il simulatore termico, la metodologia è differente: inizialmente sono stati definiti degli use case di appartamenti (anno di costruzione/struttura, superficie, tipologia di impianto, profilo di presenza); successivamente, questi use case sono stati aggregati in base alle statistiche del parco edilizio che si intendeva modellare. In questo caso, una tipologia di appartamento può essere modellata senza necessariamente generare tutti gli altri appartamenti o la loro curva aggregata.

Infine, è importante sottolineare come il simulatore termico simuli sia la domanda di servizio energetico (riscaldamento e/o raffrescamento) sia la domanda di vettore energetico (per ora elettricità e gas naturale, ma potenzialmente anche biomassa, gasolio, GPL...). Questa distinzione è importante perché è necessario distinguere da domanda di servizio energetico, cioè l'energia che è necessario fornire o sottrarre all'ambiente per mantenere il set-point di temperatura desiderato, da come questa domanda di energia viene soddisfatta. Un esempio per chiarire: due appartamenti che hanno una stessa domanda di energia

termica per riscaldamento potrebbero soddisfarla con differenti tipologia di impianto (caldaia, pompa di calore o termocamino) e quindi gravare su differenti vettori energetici (gas naturale/GPL, elettricità o biomassa). Per questo motivo, i consumi elettrici degli appartamenti legati all’HVAC non sono stati modellati all’interno del simulatore di carichi elettrici, ma all’interno del simulatore dei carichi termici.

## 1.2 Sviluppo di un simulatore della domanda di energia elettrica

Poiché per la modellazione della domanda di energia elettrica residenziale non è possibile definire use case standard, la domanda di energia elettrica residenziale è stata modellata interamente su base statistica. L'obiettivo di questa attività è stato quello di sviluppare uno strumento ed una metodologia flessibile per poter simulare in maniera verosimile la domanda di energia elettrica di un gruppo, anche grande, di utenze residenziali e di singoli appartamenti. In particolare, si è cercato di sviluppare un simulatore adattabile a differenti contesti, semplicemente cambiando i dati in ingresso (curve di profilo degli elettrodomestici o i dati statistici) qualora l'operatore posseda dati propri o che ritenga maggiormente affidabili.

Lo sviluppo del software si è focalizzato sulla generazione random delle singole utenze elettriche e sulla loro aggregazione permettendo di ottenere una elevata variabilità degli istanti d'accensione, simile a quella riscontrabile nella realtà di tutti i giorni. Per garantire la verosimiglianza dei profili di carico, è stato necessario sviluppare un modello che consentisse di rispettare le statistiche effettive. Le fasi principali di sviluppo del simulatore sono state:

- Individuazione dei profili degli elettrodomestici e delle caratteristiche comportamentali degli utenti;
- Sviluppo del modello ed implementazione del simulatore;
- Elaborazione ed analisi dei dati ottenuti con il simulatore;

Il modello sviluppato pone l'accento sugli aspetti statistici e dinamici del comportamento dei carichi elettrici generati sia dalle singole unità abitative sia da loro aggregazioni in macrogruppi (distretto residenziale, domanda aggregata di clienti di utilities).

### *Modelli utilizzati in letteratura*

Per determinare il consumo di energia elettrica in ambito domestico è stata condotta un'indagine bibliografica per determinare gli approcci già impiegati in letteratura. Da questa ricerca sono stati individuati alcuni lavori attinenti condotti in differenti paesi europei. La ricerca svolta [2][3][4][6][10] ha rilevato due principali tipologie di approccio al problema ed entrambe si basano su modelli di stima d'accensione degli elettrodomestici in diversi momenti di una giornata tipo. Questi tipi di modello vengono definiti "bottom-up" poiché si focalizzano sull'analisi dei singoli elettrodomestici per ottenere successivamente i dati cercati mediante un'operazione di aggregazione.

Tutti gli studi consultati dimostrano come il comportamento dal punto di vista energetico di un singolo individuo non sia assolutamente prevedibile con esattezza. Gli esseri umani hanno un comportamento abitudinario, tendono cioè a ripetere in modo periodico quelle azioni che si rivelano efficaci, così da ridurre il tempo di svolgimento ed incrementare quindi la comodità. Tuttavia, vi sono sempre delle differenze, non si riuscirà mai a ripetere in modo meccanico e preciso le stesse azioni, se non altro per via degli innumerevoli aspetti che influenzano la vita di ciascuno. È allora importante riuscire ad individuare delle dinamiche atte a descrivere questi comportamenti.

Le due tipologie di modelli impiegabili sono:

- Semplice: prevede l'uso delle probabilità di accensione degli elettrodomestici, indipendenti tra di loro;
- Markoviano: prevede l'uso dei processi di Markov. Ogni stato genera un evento con una certa distribuzione di probabilità che dipende solo dallo stato del sistema immediatamente precedente.

Si è scelto di utilizzare la prima tipologia di approccio, poiché è stata ritenuta sufficientemente accurata per lo scopo e perché la seconda avrebbe necessitato di una quantità di dati raccolti eccessivamente elevata. Al fine di garantire la correttezza delle distribuzioni temporali e dei valori dei carichi generati, sono stati utilizzati in ingresso dati ottenuti da indagini statistiche: queste in genere sono presenti in letteratura e sono per lo più studi provenienti da università o da enti di ricerca.

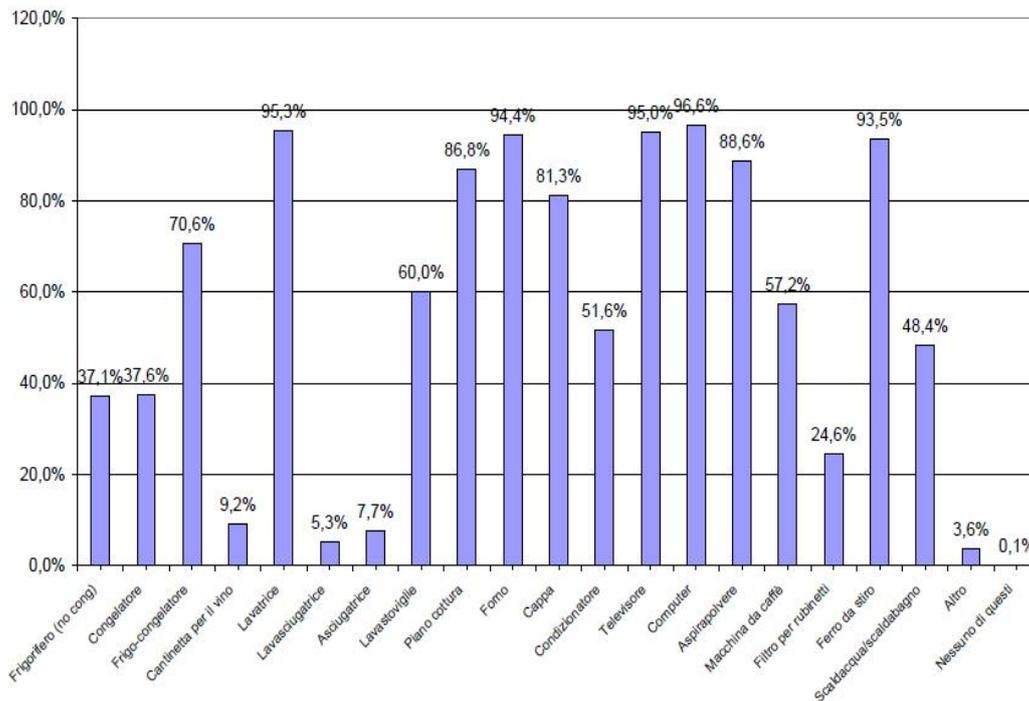
L'ideale sarebbe avere dati statistici rappresentativi del territorio oggetto di studio, anche se difficilmente sono raccolti o disponibili.

Le tipologie di dati necessari alla definizione degli input del simulatore sono:

- dati di penetrazione degli elettrodomestici;
- dati statistici sulle frequenze settimanale di utilizzo;
- dati statistici sulle frequenze orarie di utilizzo;
- andamenti temporali delle potenze richieste per ciclo di funzionamento e durata dei cicli;
- consumi in stand-by dei singoli elettrodomestici;
- I dati sul numero di persone in vacanza ed il periodo dell'Anno di vacanza;

#### *I dati di penetrazione degli elettrodomestici*

Per essere in grado di generare casualmente un numero variabile di appartamenti, con un set di elettrodomestici tali per cui la somma aggregata sia compatibile con le statistiche nazionali, sono stati utilizzati dati della ricerca di sistema elettrico ENEA [11].



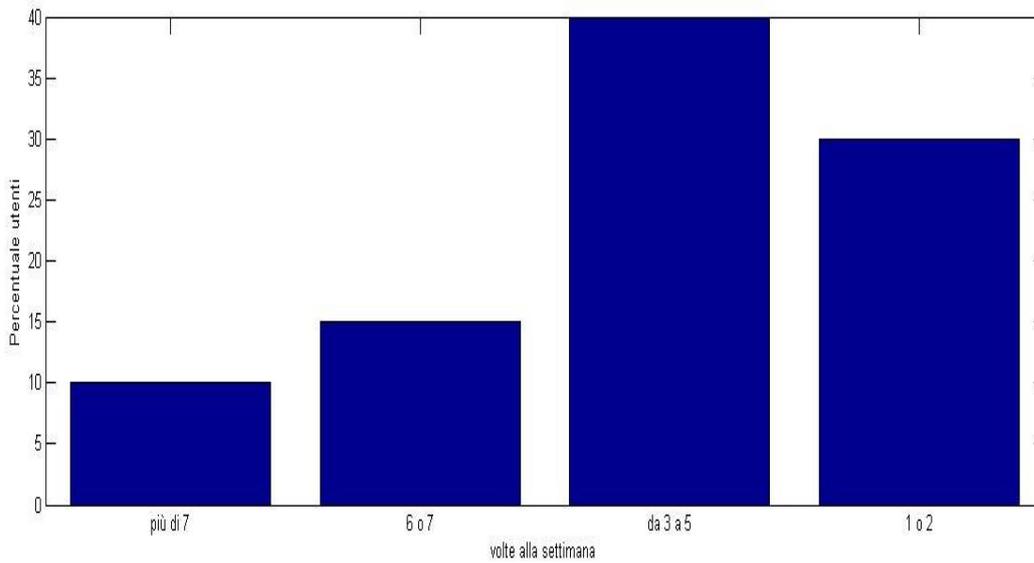
**Figura 1. Penetrazione degli elettrodomestici per tipologia.**

Tali dati hanno anche permesso di stabilire quali elettrodomestici debbano far parte della categoria di dispositivi da simulare, cioè quelli con una penetrazione tale da risultare rilevanti per le simulazioni. Si è ritenuta quindi necessaria la generazione dei carichi seguenti:

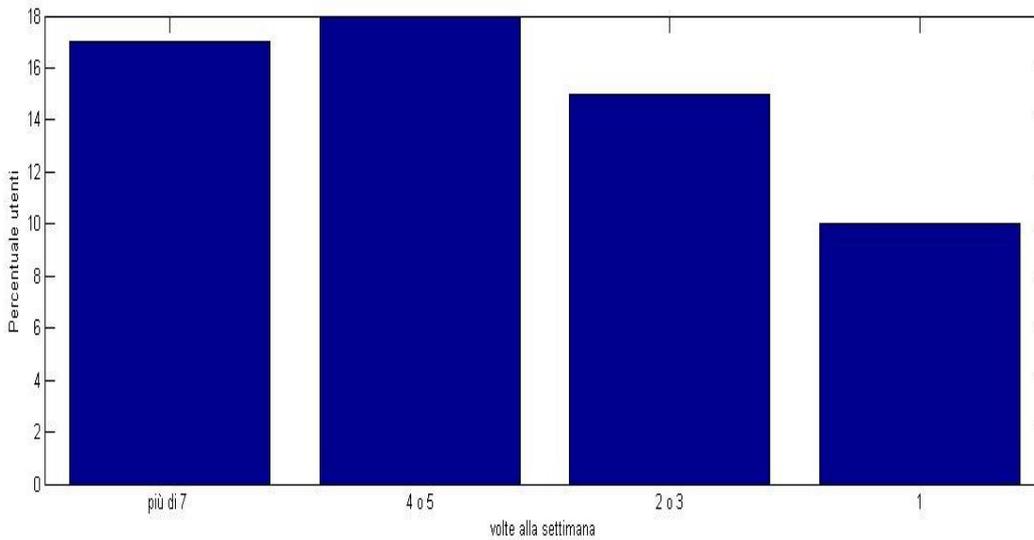
- Luci;
- Forno;
- Lavastoviglie;
- Carichi occasionali;
- Frigorifero;
- Lavatrice;
- PC;
- TV;

*I dati statistici sulle frequenze settimanale di utilizzo*

Per simulare le abitudini dell'utenza di ogni appartamento si è fatto riferimento ad uno studio ENEA [9] sulle frequenze settimanali di utilizzo di un particolare elettrodomestico con la relativa percentuale di utenti interessati. Da questi dati si genera statisticamente il numero di appartamenti con tali abitudini.

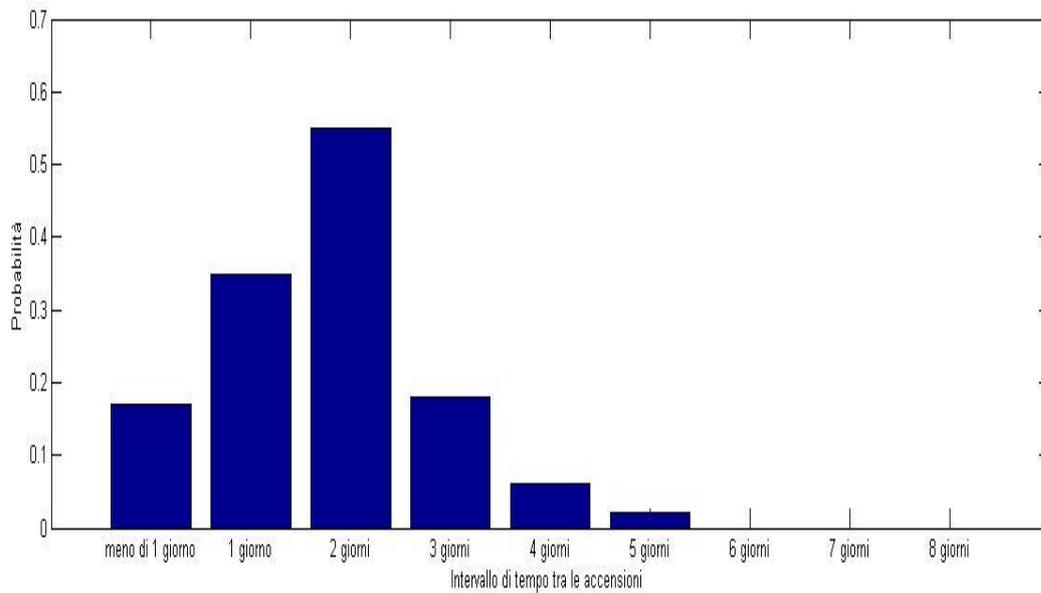


**Figura 2. - Lavatrice - Distribuzione delle frequenze settimanali di utilizzo**

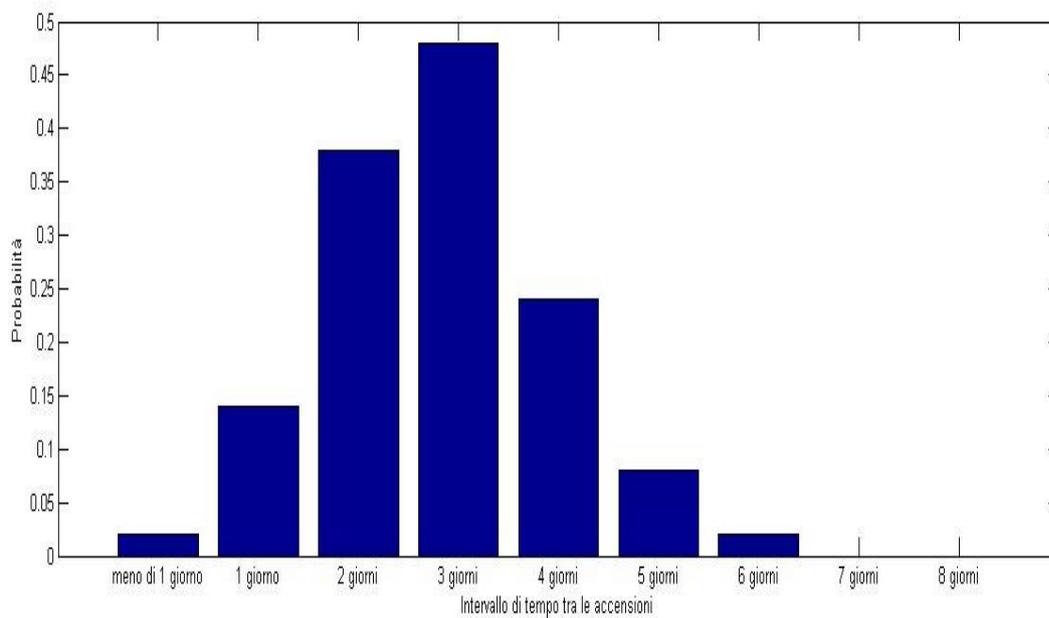


**Figura 3. - Lavastoviglie - Distribuzione delle frequenze settimanali di utilizzo**

Successivamente, per ogni tipo di “abitudine” è stata definita una distribuzione di probabilità per generare il numero di occorrenze settimanali, in modo tale che la media di occorrenze nell’arco di molte settimane venisse pari alla frequenza settimanale tipica della statistica dell’abitudine generata per quel particolare appartamento. Per fare questo passaggio è stato necessario guardare le frequenze settimanali dal punto di vista temporale, cioè come numero di giorni di intervallo fra un’accensione e l’altra. In questo modo è stato possibile tener conto anche di esigenze future, quali ad esempio la necessità da parte del gestore dei carichi di prevedere quali utenze potessero verosimilmente attivarsi in un dato giorno della settimana.



**Figura 4. - - Lavatrice – Distribuzione di probabilità dell’intervallo di tempo fra le occorrenze settimanali, per un’utenza con frequenza settimanale da 3 a 5 volte (1,75 giorni di media)**



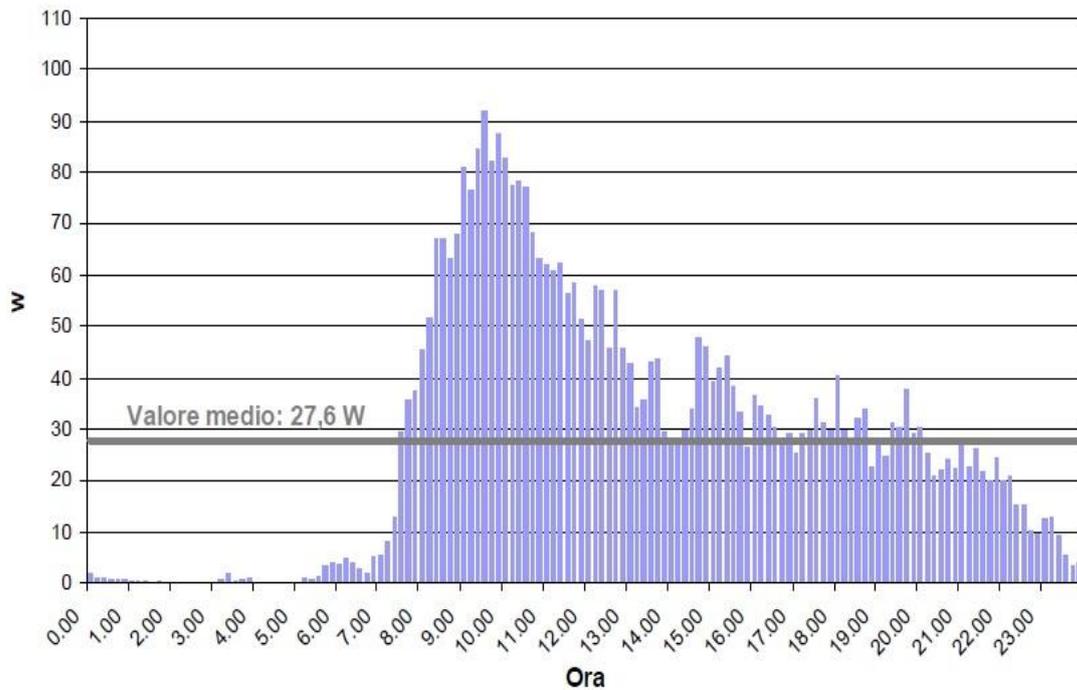
**Figura 5. - Lavastoviglie – Distribuzione di probabilità dell’intervallo di tempo fra le occorrenze settimanali, per un’utenza con frequenza settimanale pari a 2 o 3 volte (2,8 giorni di media)**

*I dati statistici sulle frequenze orarie di utilizzo*

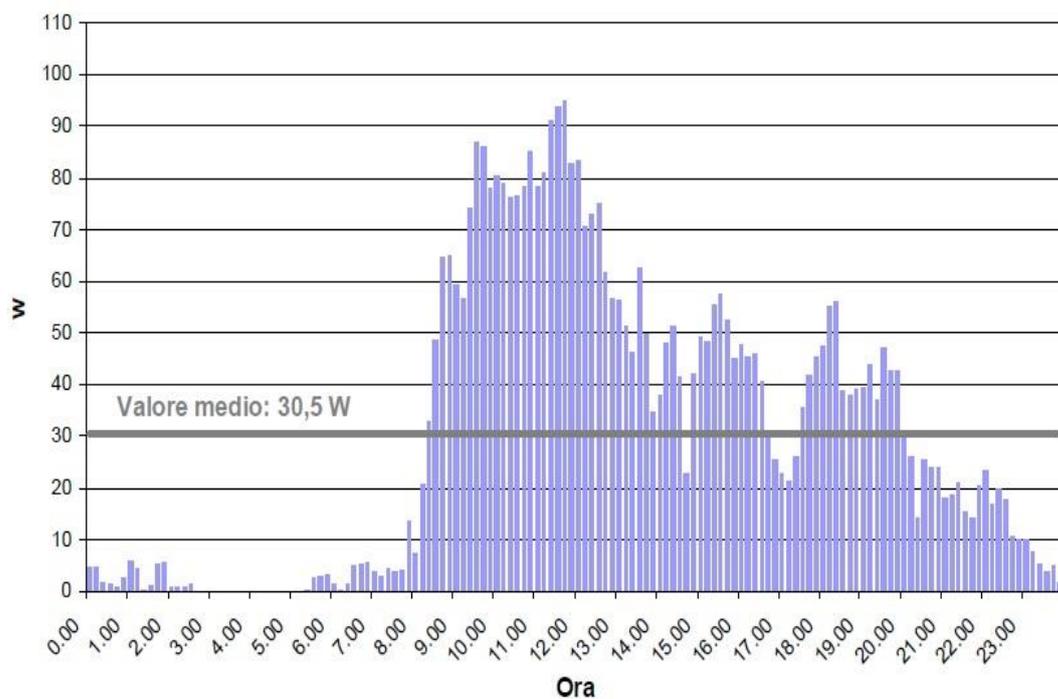
Per determinare quando debba avvenire l'accensione dell'elettrodomestico nell'arco del giorno, sono stati utilizzati i dati statistici provenienti dalla campagna di misure effettuate nell'ambito del progetto MICENE finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio [1].

Si è provveduto a mantenere la distinzione fra giorno ferial e festivo, potendo tenere conto così di questo importante aspetto in simulazione.

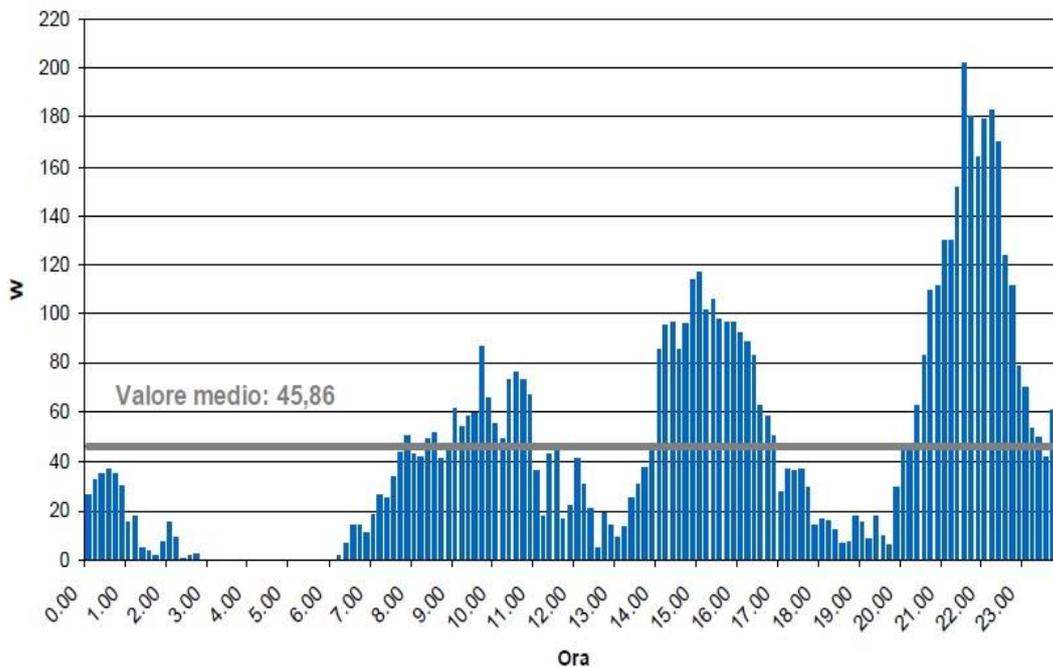
I dati utilizzati corrispondono ai consumi dell'elettrodomestico mediati all'ora nell'arco del periodo della misurazione.



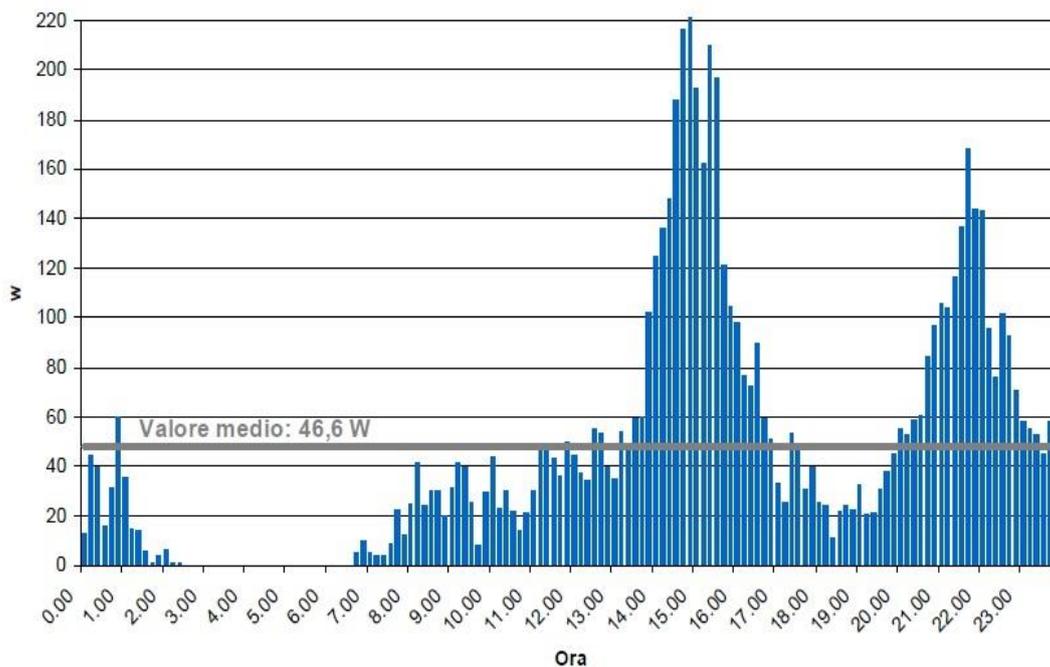
**Figura 6. - Lavatrice – Curva di carico giornaliera media per i giorni feriali**



**Figura 7. - Lavatrice – Curva di carico giornaliera media per i giorni festivi**



**Figura 8. - Lavastoviglie – Curva di carico giornaliera media per i giorni feriali**



**Figura 9. - Lavastoviglie – Curva di carico giornaliera media per i giorni festivi**

Utilizzando un intervallo di campionamento di 30 minuti, è stato possibile ricavare, mediando i valori trovati, un totale di 48 valori nell’arco delle 24 ore. In questo modo si ottiene un grafico rappresentante la distribuzione di probabilità giornaliera dalle ore 0:00 alle 23:30, di tutti gli apparecchi monitorati. È stata fatta distinzione fra i giorni infrasettimanali ed il weekend, ed in futuro si potrebbe implementare il calendario delle festività italiano per l’utilizzo delle curve per giorni festivi.

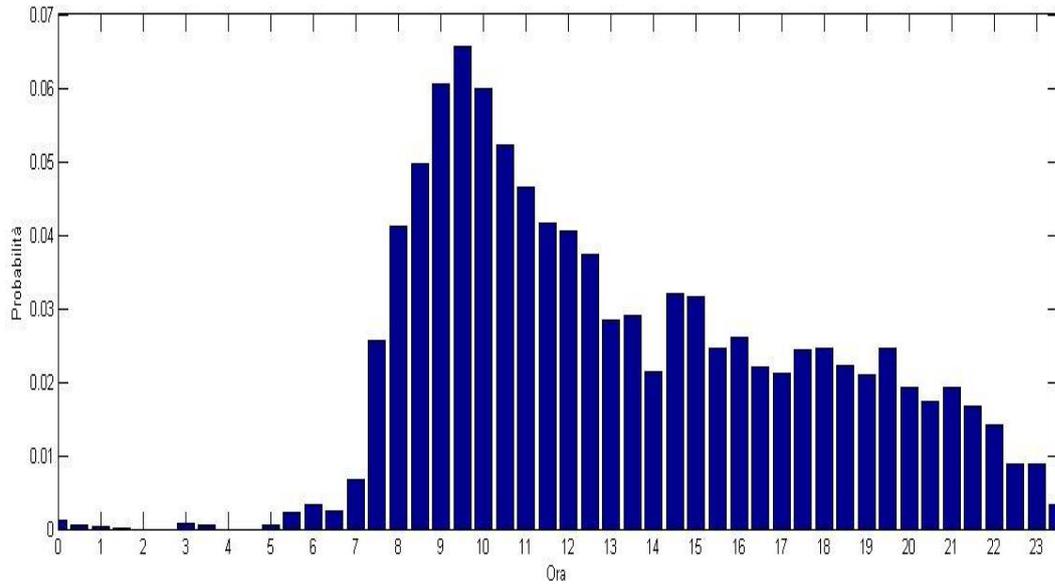


Figura 10. - Lavatrice – Distribuzione di probabilità per i giorni feriali

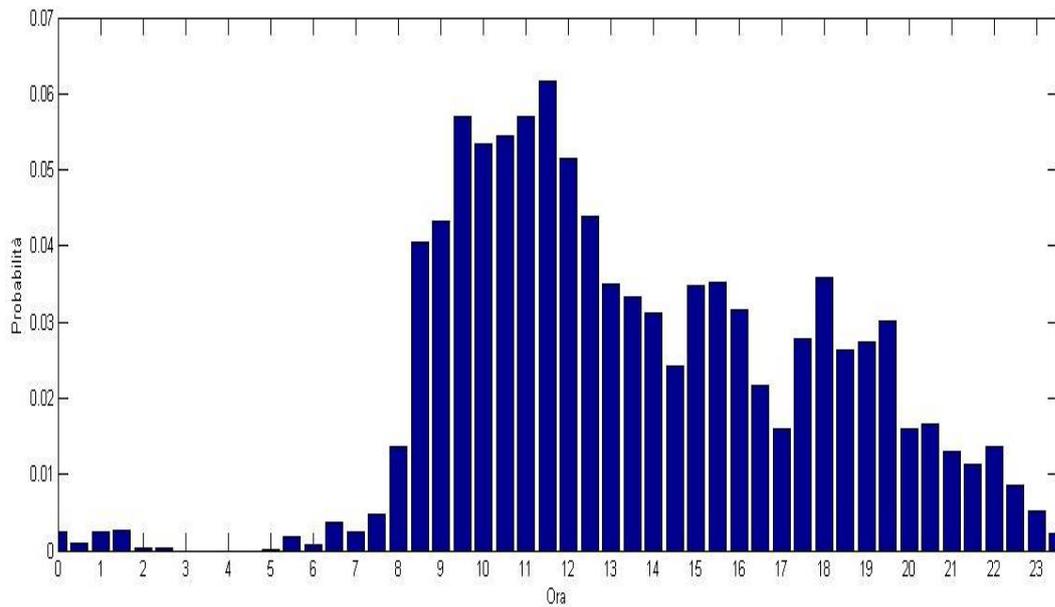
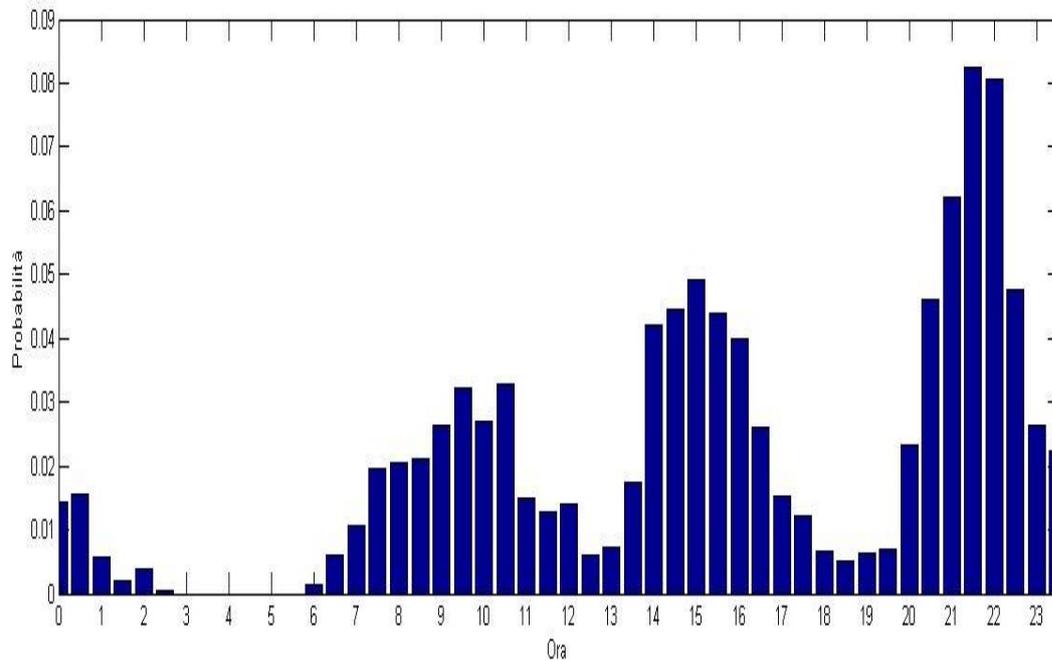
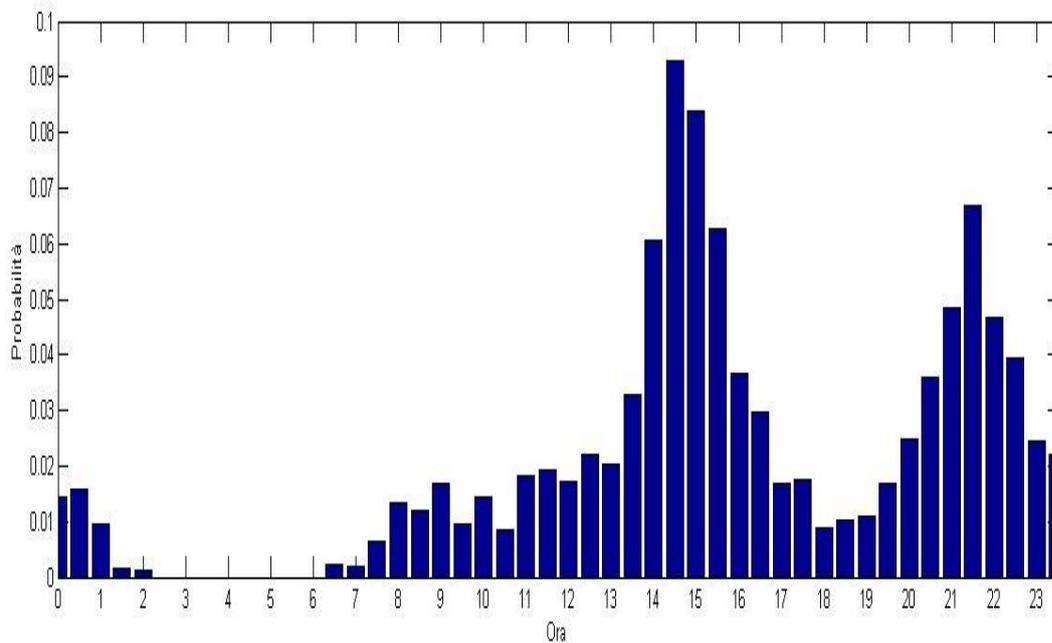


Figura 11. - Lavatrice – Distribuzione di probabilità per i giorni festivi



**Figura 12. - Lavastoviglie – Distribuzione di probabilità per i giorni feriali**



**Figura 13. - Lavastoviglie – Distribuzione di probabilità per i giorni festivi**

*Gli andamenti temporali delle potenze richieste per ciclo di funzionamento e durate dei cicli*

Per poter simulare i cicli di funzionamento dei vari dispositivi è necessario avere a disposizione l'andamento temporale della potenza richiesta dall'elettrodomestico, ma è stata riscontrata una certa difficoltà nella ricerca dei profili di carico, arrivando a disporre solo di alcuni [5] mentre per gli altri si è proceduto ad ipotizzare un andamento verosimile.

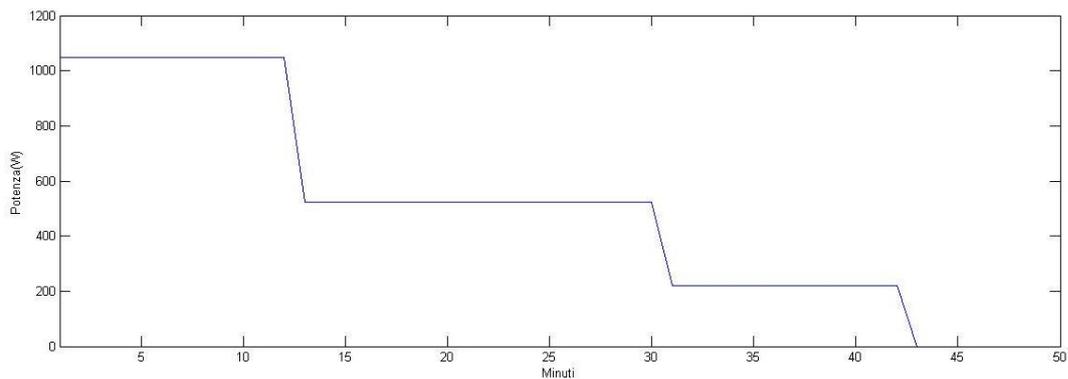


Figura 14. - Forno - Profilo di carico di uno dei tipi di cicli generabili

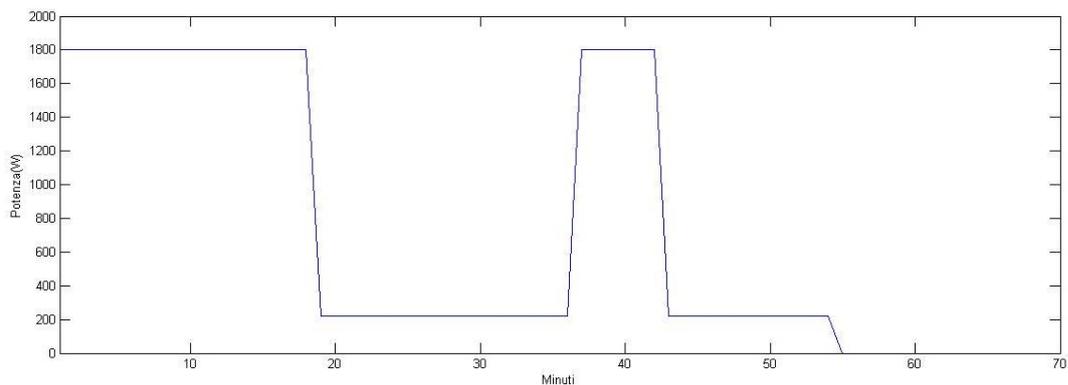


Figura 15. - Lavatrice – Profilo di carico

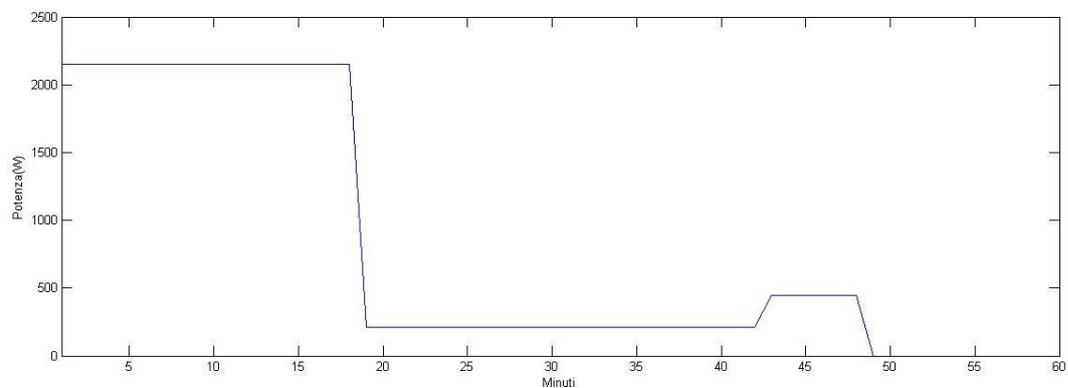


Figura 16. - Lavastoviglie – Profilo di carico

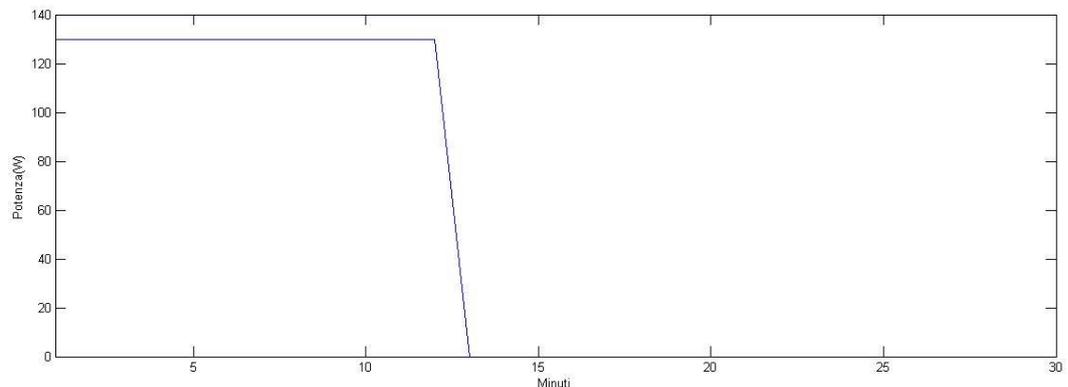
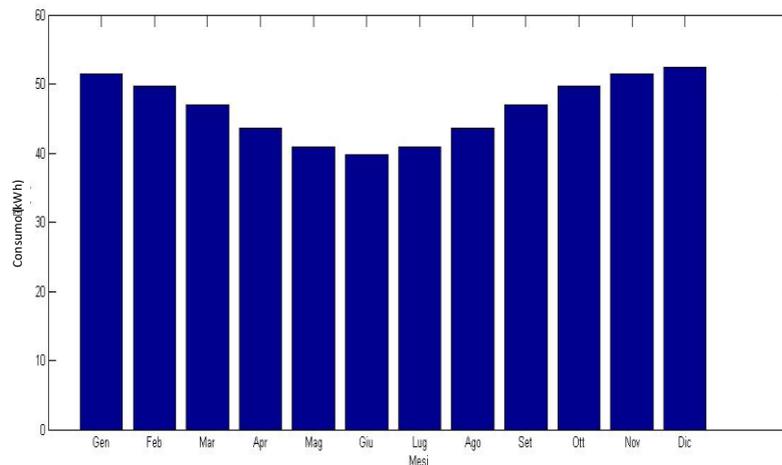


Figura 17. - Frigorifero – Profilo di carico

Per gli altri dispositivi vengono ipotizzati i seguenti carichi:

- Tv, 105 Watt per 60 minuti
- Pc, 125 Watt per 60 minuti
- Carico occasionale, 1000 Watt per 30 minuti

Come si vedrà in seguito, per l'illuminazione in ambito domestico è stata utilizzata un differente approccio di simulazione. In particolare per la simulazione del consumo delle luci si è scelto un valore medio di carico che potesse variare a seconda del mese considerato (Figura 18). I valori sono tali per cui alla fine della simulazione l'energia consumata per l'illuminazione deve essere pari a quella misurata ed ottenuta nelle indagini di riferimento.



**Figura 18. - Illuminazione – Carico utilizzato nell’arco dell’anno**

#### *I consumi in stand-by*

Noto che i consumi in stand-by sono di grande importanza per la valutazione quantitativa (anche se di minor importanza dal punto di vista qualitativo) dei consumi elettrici complessivi è stata effettuata una ricerca di dati da varie indagini statistiche sui valori dei carichi in stand-by nelle abitazioni. Il carico di stand-by rappresenterà un carico base. Questo sarà presente costantemente nell’arco del periodo di simulazione. Sono stati raccolti diversi dati provenienti da indagini effettuate in paesi esteri; alla fine, in assenza di dati specifici per l’Italia, si è deciso di fare riferimento ad una ricerca turca [8] che mostra i vari consumi divisi per numero di abitazioni. Da questa ricerca è stata estratta una distribuzione di probabilità con cui generare casualmente i consumi degli stand-by dei vari appartamenti.

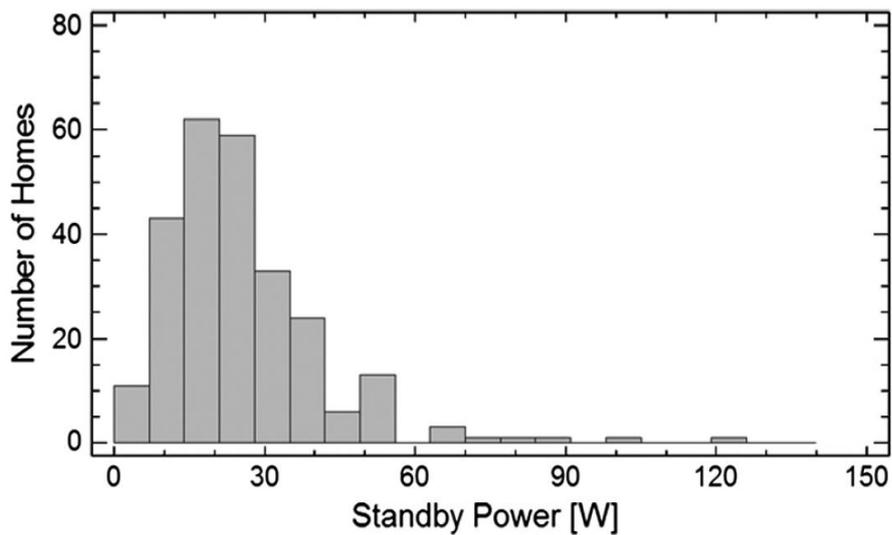


Figura 19. - Consumi in stand-by delle abitazioni misurate

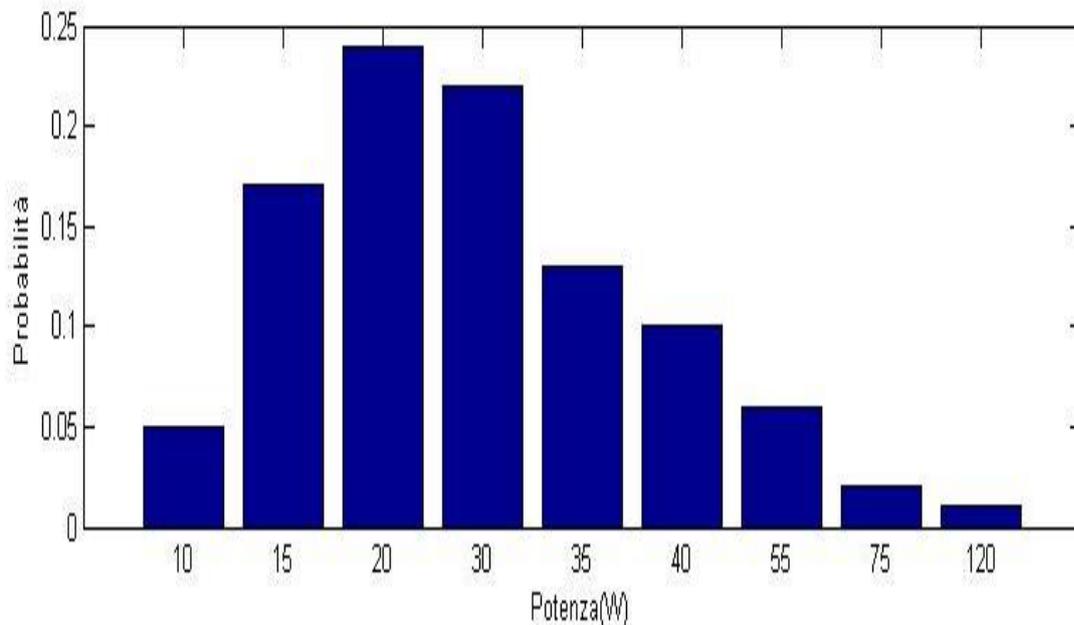


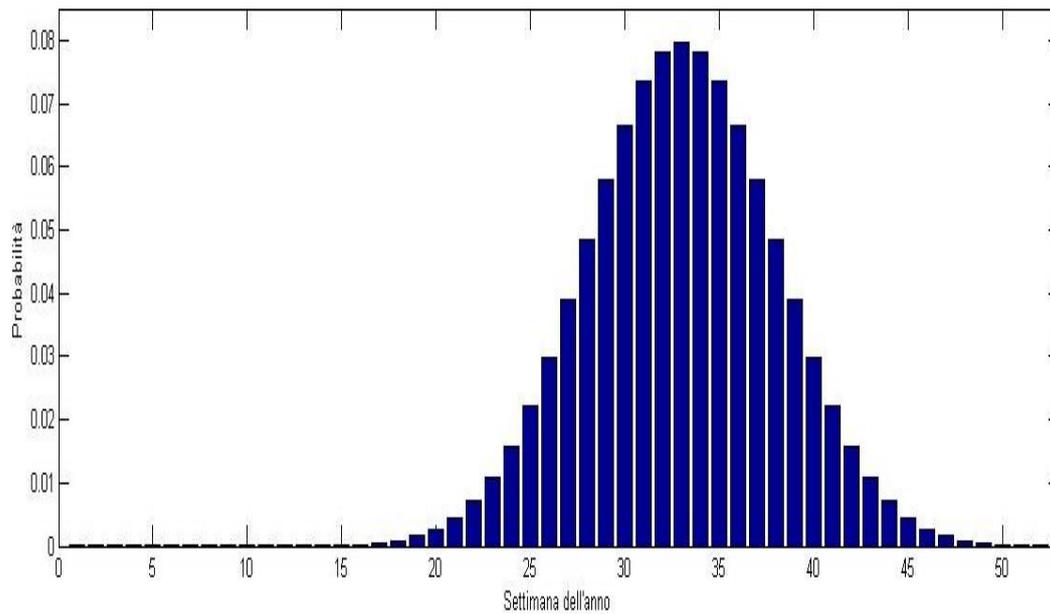
Figura 20. - Distribuzione di probabilità utilizzata per la generazione degli stand-by

*I dati sul numero di persone in vacanza e sulla loro durata*

Si è scelto di inserire nel simulatore anche il periodo di ferie. Questo poiché si è ritenuto interessante inserire quest'ulteriore elemento di variabilità per una generazione incentrata sulla aleatorietà e per ottenere una maggior verosimiglianza qualitativa dell'andamento dei carichi durante l'anno. Questo interessante aspetto ha richiesto una ricerca di vari sondaggi e dati di istituti statistici [7, 12] che hanno aiutato a formulare delle ipotesi, poi necessariamente semplificate per non complicare in modo eccessivo il codice di simulazione.

Si è deciso così di stabilire, come probabilità di partenza per la generazione dei tipi di utenza, un 50% di utenti che non vanno in vacanza, un 25% di utenti che invece partono per 1 settimana ed un 25% di utenti che stanno fuori per 2 settimane.

Generato i tipi di utenza è sorto il problema di stabilire il periodo (quali settimane) per andare in vacanza e si è adottata una distribuzione di probabilità gaussiana e centrata nel mese di Agosto. È poi possibile modificare facilmente tali curve per tenere conto, ad esempio, delle utenze che decidono di andare in vacanza a fine Anno.



**Figura 21. - Distribuzione di probabilità utilizzata per la scelta del periodo di vacanza**

#### *Progettazione del simulatore*

Il sistema implementato in Matlab è stato pensato in maniera modulare e versatile. Questo per consentire il suo utilizzo in contesti diversi come, ad esempio, stati o città con differenti statistiche in termini di penetrazione di elettrodomestici. Nel caso si disponga di nuovi dati statistici o curve di carico degli elettrodomestici è infatti molto semplice modificare gli input del simulatore per ottenere la massima flessibilità.

Lo scopo del simulatore implementato consiste nel generare dati di consumo elettrico in ambito domestico per un gruppo di appartamenti con diversa tipologia di utenze. Tutto con la possibilità di scegliere liberamente il numero degli appartamenti e potendo modificare le curve statistiche in ingresso.

Il simulatore fornisce come output tutti i grafici delle grandezze di consumo elettrico e KPI per un'analisi approfondita dei vettori elettrici.

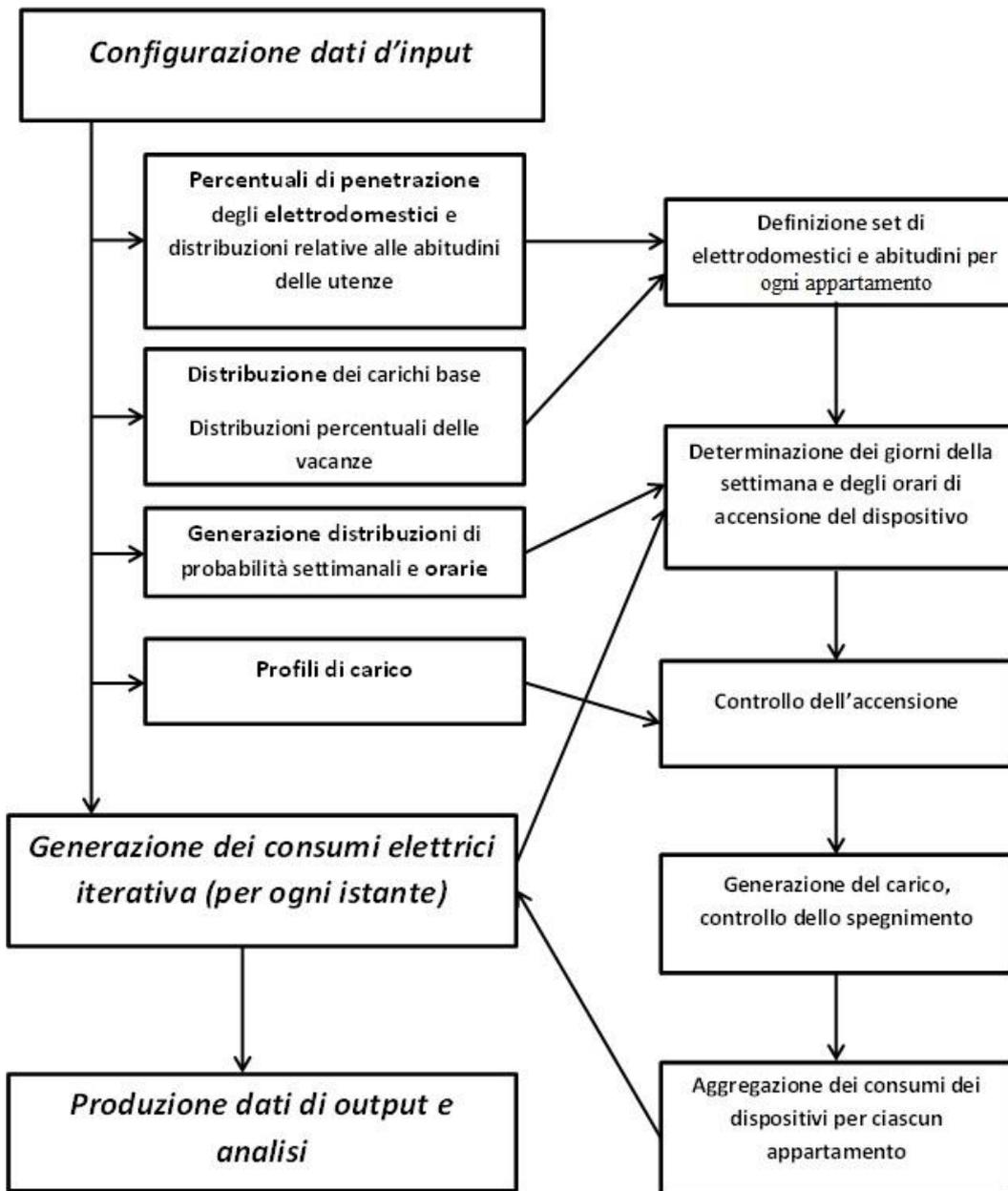


Figura 22. - Diagramma di flusso del simulatore dei carichi elettrici

Il diagramma di flusso in Figura 22 mostra la logica di lavoro del software. Il simulatore deve essere prima inizializzato inserendo i principali dati statistici. In fase di inizializzazione, a partire dai dati statistici inseriti, il software definisce le distribuzioni di probabilità settimanali di utilizzo per ogni elettrodomestico, trasformate da frequenze ad intervalli di tempo (giorni) e le distribuzioni di probabilità orarie giornaliere per i giorni feriali e per i festivi. Infine il software definisce le percentuali di utenze a cui appartengono i vari elettrodomestici ed i cicli di assorbimento delle potenze elettriche per ognuno.

Una volta specificate le varie distribuzioni, è possibile definire il numero di appartamenti e la data iniziale con cui iniziare la simulazione. Avviata l'inizializzazione, per ogni appartamento vengono generati casualmente i relativi set di elettrodomestici sulla base delle percentuali di penetrazione e, per ogni dispositivo presente nell'appartamento, viene attribuita la relativa curva di distribuzione di probabilità degli intervalli di tempo tra le accensioni e le distribuzioni giornaliere. La curva di distribuzione non è necessaria per illuminazione e frigorifero, poiché questi vengono sempre accesi più volte al giorno e non è necessaria per tv e pc poiché, per questi, è stata stabilita una frequenza settimanale costante.

Inoltre è stata già predisposta la funzione grazie alla quale, in futuro, potrà essere attribuita ai dispositivi una determinata priorità di accensione per evitare che troppi carichi siano funzionanti nello stesso momento. Per evitare il superamento di una determinata soglia di picco, si verificheranno i casi di occorrenze determinate nello stesso orario ed in questi casi, proprio durante l'esecuzione della simulazione, si modificheranno le distribuzioni di probabilità del dispositivo con priorità più bassa.

Sempre in fase di inizializzazione del software verranno anche generati in modo aleatorio i carichi di base di ogni appartamento, i periodi di vacanza e la loro relativa durata.

Finita la fase di inizializzazione vengono assegnati a ciascun elettrodomestico i cicli che verranno utilizzati. Infatti si è tenuto conto della possibilità che gli elettrodomestici, come ad esempio il forno o la lavatrice, possano eseguire cicli differenti, i quali dipendono dal programma impostato a seconda della necessità dell'utenza. Quindi è stato reso possibile assegnare anche diversi cicli allo stesso elettrodomestico potendo poi generare, all'interno del simulatore, la scelta fra questi.

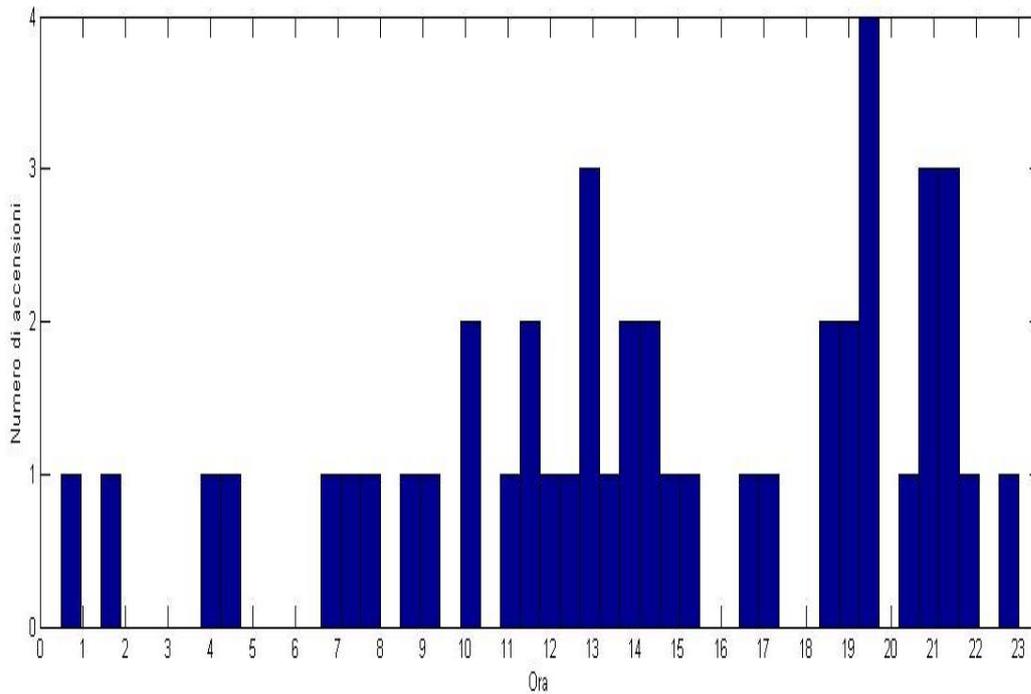
Una volta finita la fase di inizializzazione, il simulatore genera in modo aleatorio i consumi elettrici dei vari dispositivi a partire dai dati inseriti. Come già anticipato, l'approccio utilizzato consiste nella generazione dei carichi per il singolo dispositivo e l'aggregazione di questi per il singolo appartamento.

L'esecuzione vera e propria si articola in varie fasi. Nella prima fase viene effettuata l'inizializzazione dei contatori (data ed ora di accensione, numero di occorrenze giornaliere ancora da effettuare, quale ciclo dell'elettrodomestico deve essere effettuato, numero di minuti per i quali il dispositivo deve ancora rimanere acceso) di ogni dispositivo e l'assegnazione di questi all'array di celle per tenere conto dei dati di ogni appartamento. Successivamente inizia il ciclo che permette l'iterazione (con un passo pari ad un minuto) delle varie fasi in cui è stato scomposto il simulatore, e viene impostato l'aggiornamento della data che è necessario per tenere conto di quale giorno ed in quale settimana dell'anno sta avvenendo la simulazione. Poi, si esegue un secondo ciclo per sviluppare simultaneamente la generazione dei carichi per ogni appartamento e si genera il carico di base che sarà presente in tutta la simulazione. Si passa in seguito a generare per ogni elettrodomestico (se posseduto) la data in cui avverrà l'accensione aggiungendo l'intervallo di tempo generato dalla distribuzione di probabilità al giorno attuale. Oltre a questo, nel caso in cui debbano avvenire più accensioni nello stesso giorno si provvede ad assegnare il numero di occorrenze che dovranno verificarsi. Quando la simulazione arriva al giorno previsto, si genera l'orario delle accensioni (con una risoluzione pari a mezz'ora, come compromesso fra precisione del modello e carico computazionale) attraverso la distribuzione di probabilità oraria e tenendo conto del numero di accensioni che dovranno avvenire in questa data.

Per l'illuminazione, la tv ed il frigorifero non è necessario generare il giorno della settimana in cui si verificherà l'occorrenza poiché, per questi dispositivi, avviene almeno un'accensione al giorno e quindi si passa direttamente a determinare gli orari delle accensioni.

Notando dalle statistiche considerate che i consumi derivanti dall'illuminazione variano nel giorno a seconda dell'orario per via del diverso numero di corpi illuminanti accesi e per via della possibilità di regolazione negli impianti che ne sono provvisti, si è deciso di permettere accensioni simultanee per le luci

che permettessero di tener conto della variazione a seconda dell'orario e di utilizzare per ogni accensione un valore di potenza assorbita medio ed un numero di occorrenze tale che la media annuale dei consumi orari fosse pari a quella della statistica (Figura 23).



**Figura 23. - Illuminazione –Esempio di generazione degli orari e del numero di accensioni in un giorno feriale**

Nella terza fase, si controlla se l'istante attuale corrisponde al giorno e alla mezz'ora in cui è prevista l'accensione. Se si rientra in questo caso, allora si segnala che l'occorrenza è avvenuta (svuotando i contatori precedentemente definiti), si sceglie in modo casuale il ciclo da effettuare attraverso la distribuzione di probabilità e si avvia la variabile che segnala l'accensione ed il contatore dei minuti del ciclo. Nella quarta fase, ad ogni istante si genera la potenza indicata nel ciclo per quel minuto e si controlla se deve avvenire lo spegnimento tramite l'azzeramento dei contatori.

Infine, si controlla se il momento considerato appartiene al periodo di vacanza che era stato determinato nell'inizializzazione. In caso positivo si determina direttamente il carico relativo a quell'appartamento come somma del carico frigorifero e della metà del carico di base, per tener conto di particolari accorgimenti presi dall'utenza prima di andare in vacanza.

Avviene poi la generazione della matrice che conterrà tutte le uscite necessarie alle elaborazioni post-esecuzione, quali ad esempio i consumi, i set di elettrodomestici o le abitudini di ogni appartamento. Tutti questi passaggi vengono effettuati ad ogni istante, per ogni dispositivo di ogni appartamento.

Le figure da Figura 24 a Figura 28 mostrano le medie annuali dei consumi orari di alcuni elettrodomestici per un appartamento. È importante notare che, essendo i grafici su base oraria, le Figure considerate riportano in ordinata la potenza equivalente oraria di ciascun elettrodomestico; tuttavia, il simulatore è in grado di scendere fino al dettaglio di un minuto.

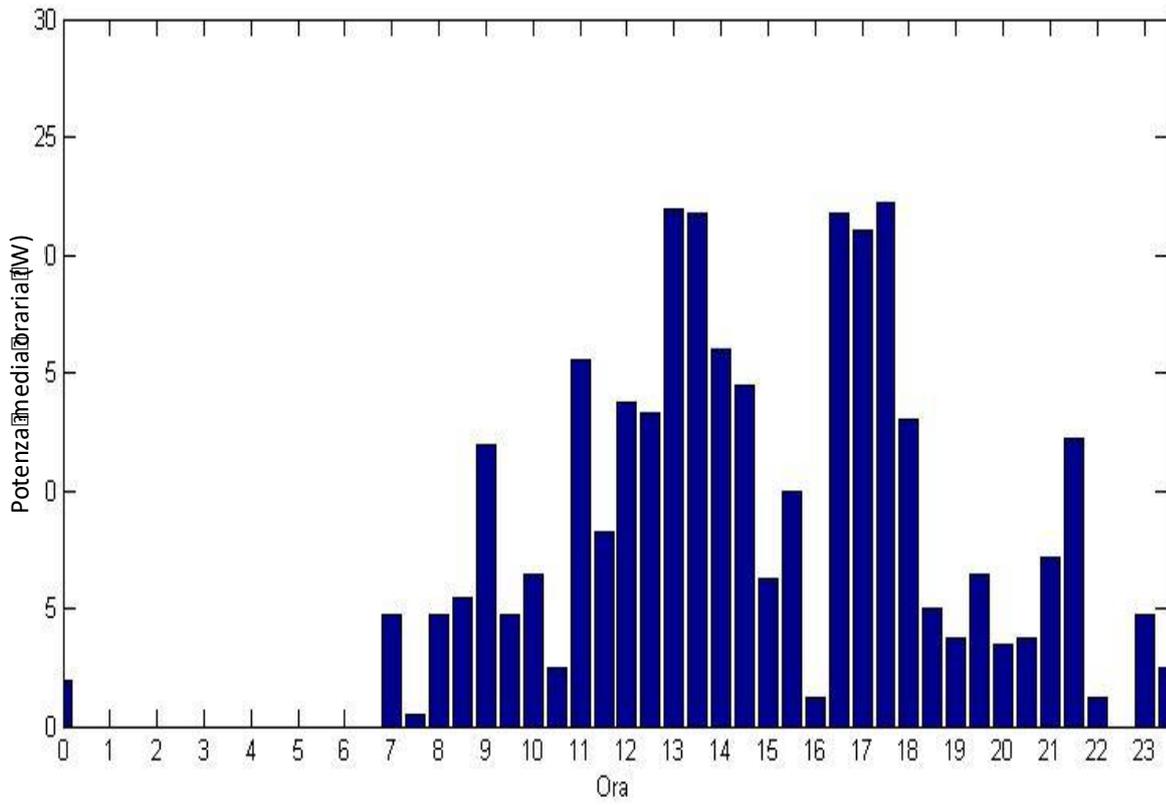


Figura 24. - Consumo orario del forno mediato nell'arco dell'anno

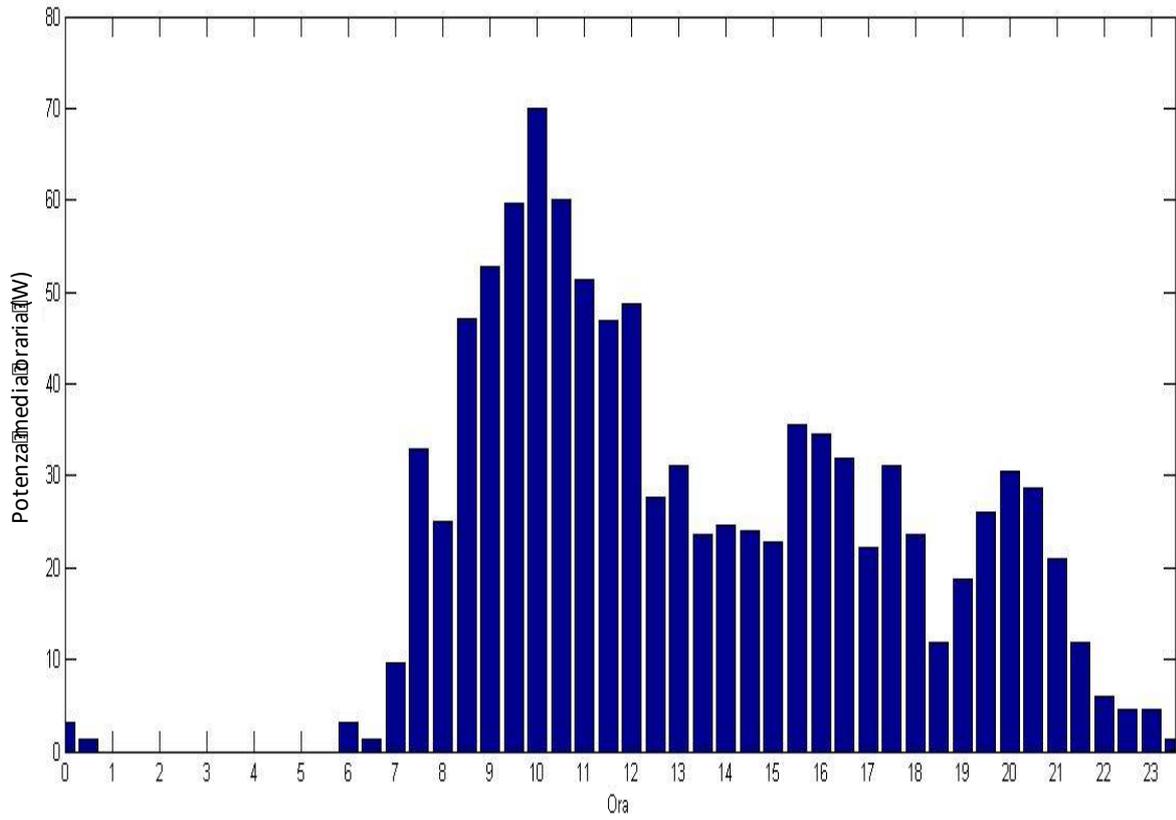


Figura 25. - Consumo orario della lavatrice mediato nell'arco dell'anno

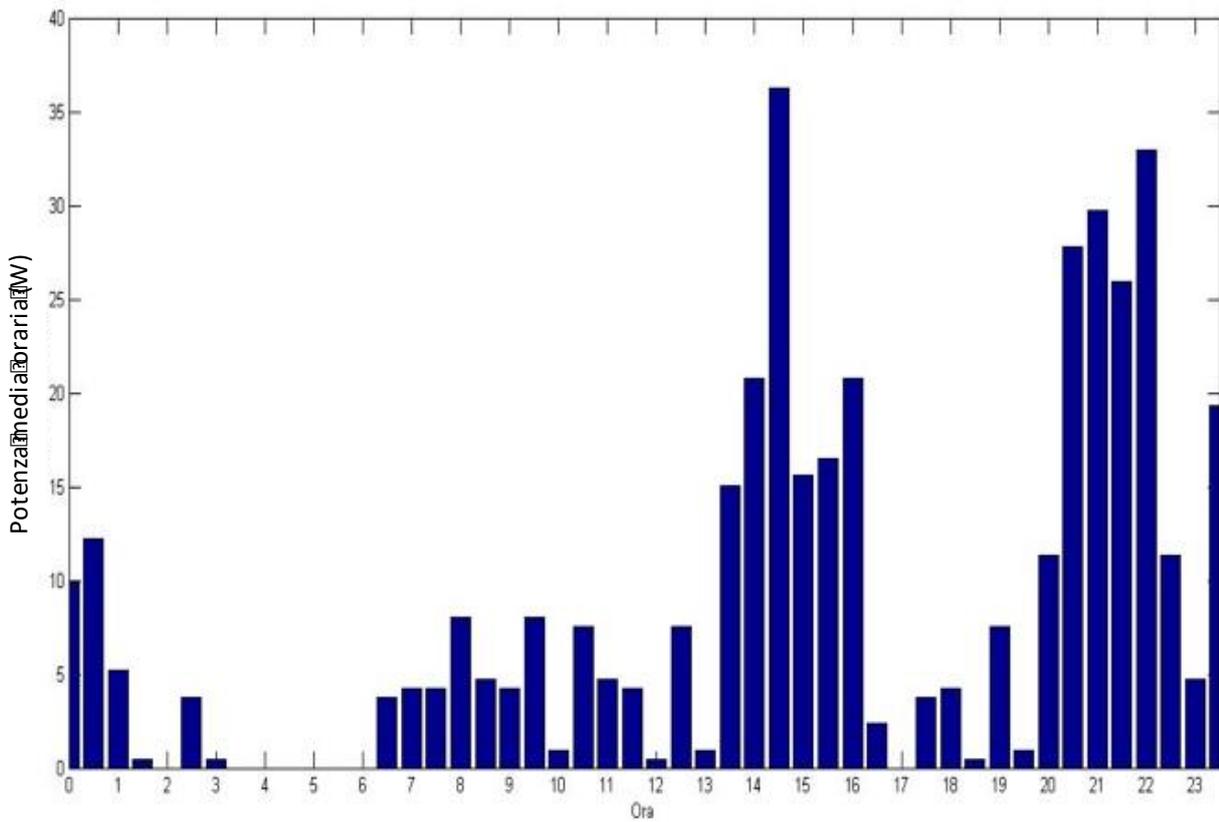


Figura 26. - Consumo orario della lavastoviglie mediato nell'arco dell'anno

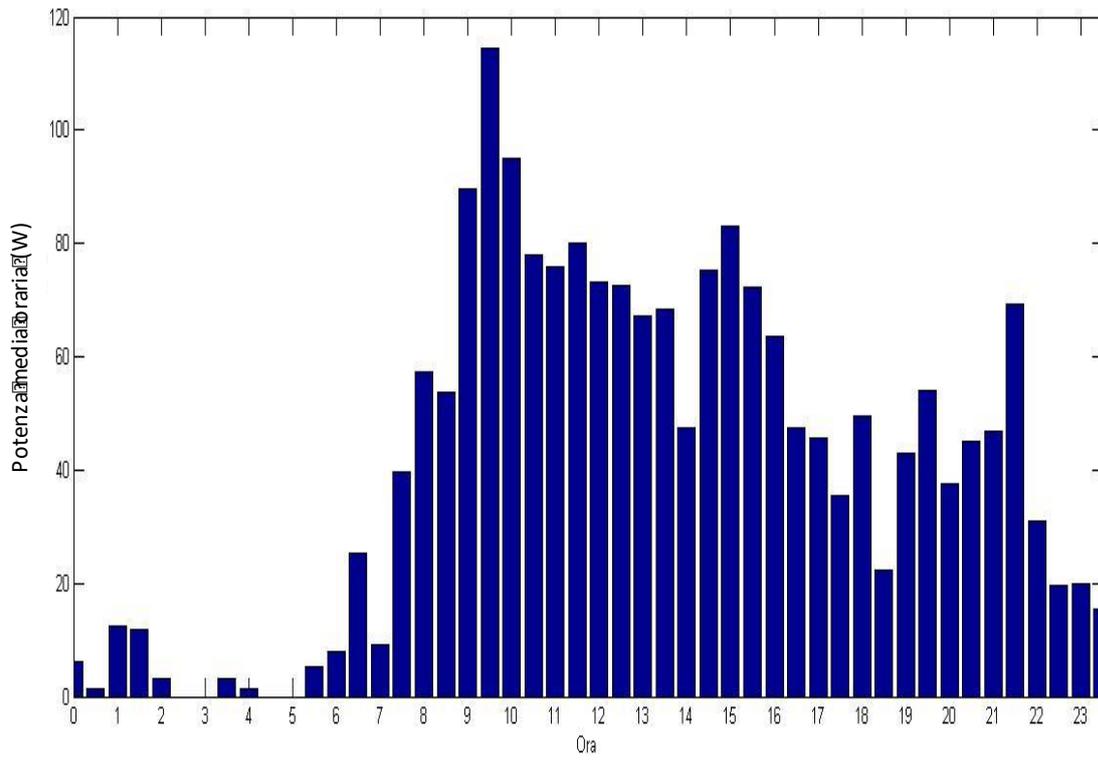


Figura 27. - Consumo orario aggregato di forno, lavastoviglie e lavatrice, mediato nell'arco dell'anno

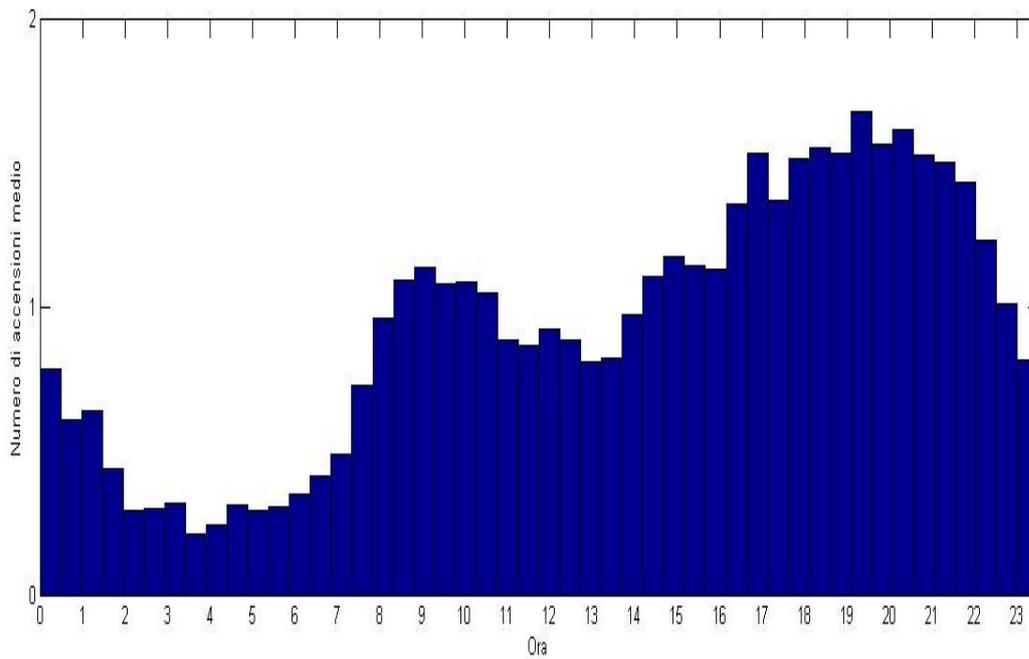


Figura 28. - Illuminazione – Media del numero di accensioni orarie verificatesi in anno in un appartamento

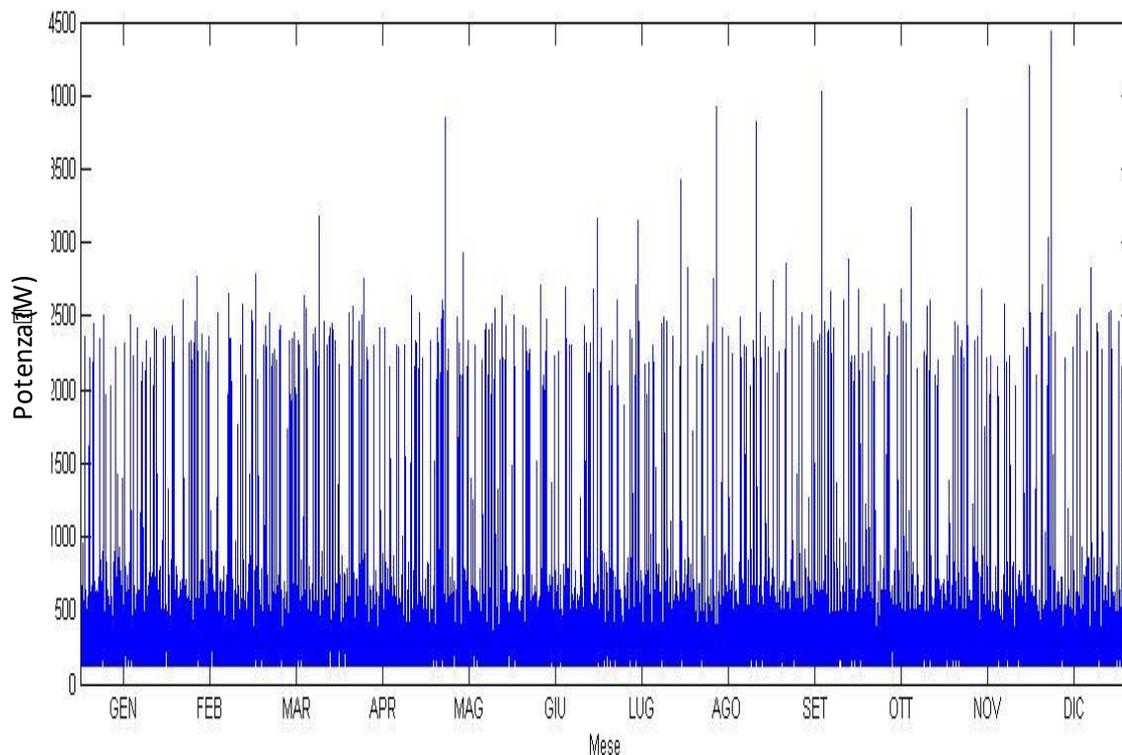
Per sottolineare il forte carattere aleatorio del simulatore sviluppato, le Figure da Figura 29 a Figura 40 mostrano i profili elettrici generati per 4 appartamenti su differenti archi temporali (15 giorni, due mesi, un anno).

I grafici riportati mostrano alcuni, anche se rari, momenti in cui la curva di carico degli appartamenti supera i 3 kW di potenza elettrica. Questo avviene poiché i vari elettrodomestici sono considerati completamente indipendenti tra loro a causa della mancanza di una struttura di controllo delle contemporaneità dei carichi. Quindi, per il futuro, si è predisposto il programma all'implementazione di un sistema di controllo delle priorità dei dispositivi. Questo sistema deve essere in grado di simulare la scelta dell'utente su quali carichi attivare e quali ritardare nel caso si verificassero delle sovrapposizioni dei cicli di funzionamento che porterebbero a superare il limite dei 3 kW (potenza impegnata da contratto). Alla generazione degli istanti di accensione, in caso di avvenimento di una contemporaneità dei carichi, il sistema provvederà a modificare la distribuzione di probabilità oraria del dispositivo a minor priorità, evitando così la sovrapposizione.

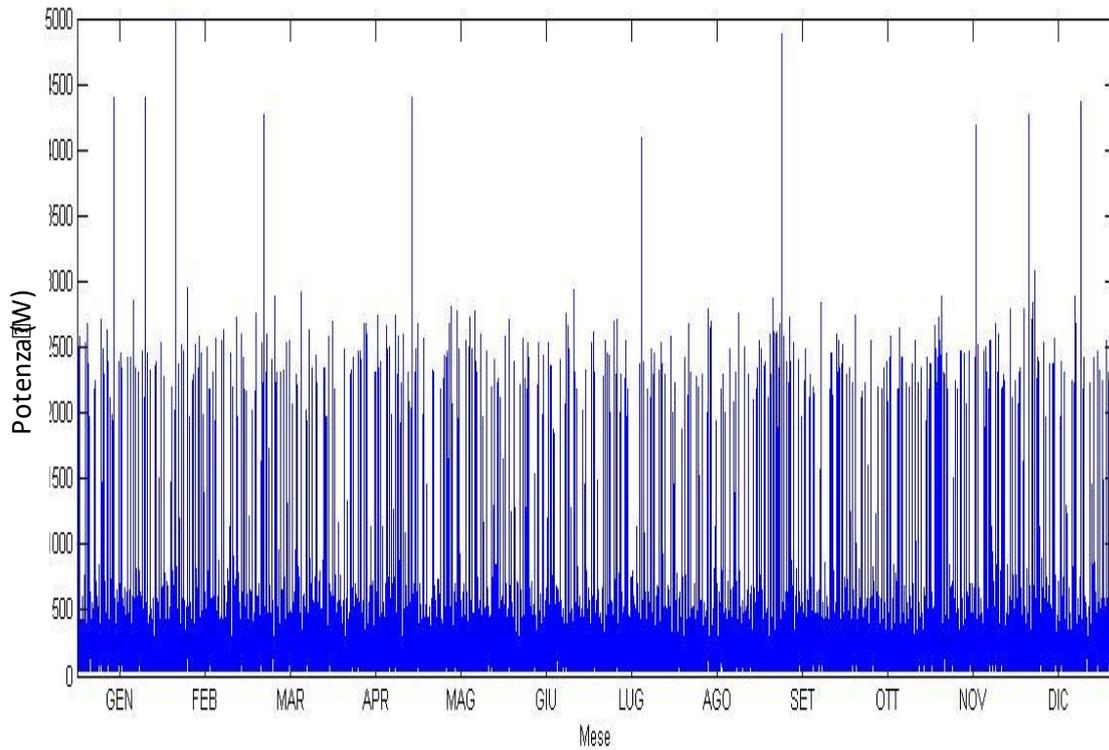
In Figura 32 è interessante notare come per l'appartamento 4 siano presenti 2 settimane in cui avvengono solamente accensioni del frigorifero ed è presente un ridotto consumo in stand-by. Questo perché l'utenza ha "programmato" il periodo di vacanza nel mese di Settembre.

Concentrando l'attenzione su un periodo di 2 mesi, la differenza fra i tipi di cicli e le loro frequenze di accadimento, per appartamenti che presentano diversi set di elettrodomestici e differenti tipi di utenza, risultano molto evidenti.

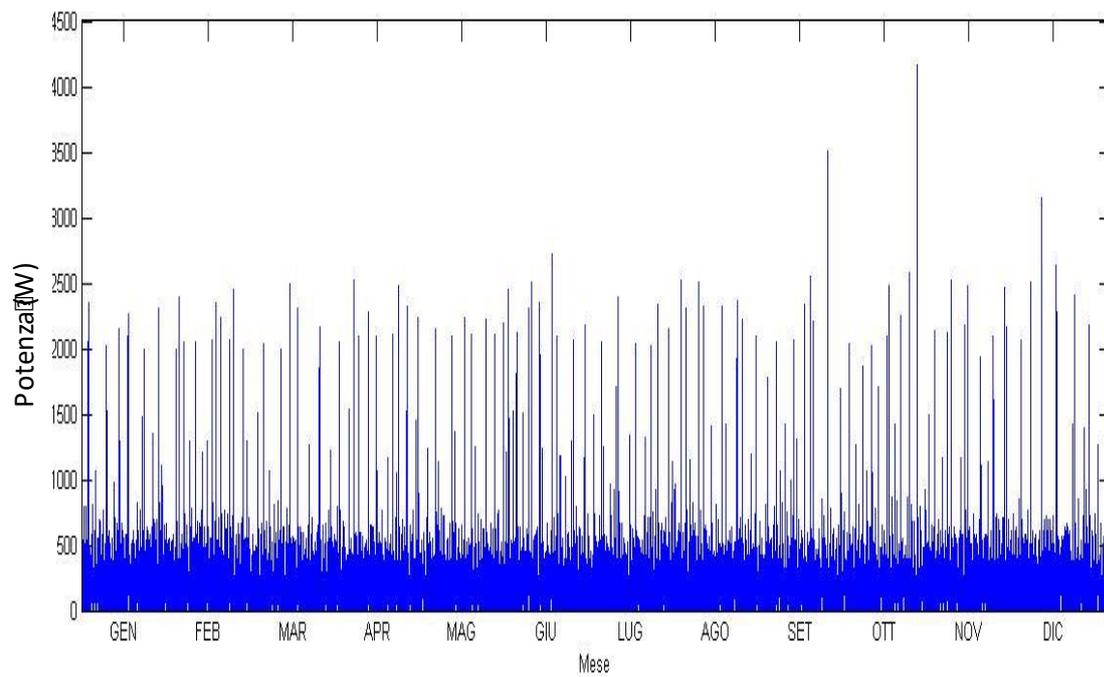
In un periodo di 15 giorni, si osserva come non sia presente una precisa e macchinosa ripetizione delle occorrenze, ma una grande variabilità dei cicli di accensione in forte aderenza con quanto avviene nella realtà. Ciò conferma le aspettative sul carattere statistico aleatorio il quale è stato fortemente considerato durante la progettazione. Saltano subito all'occhio i differenti intervalli di tempo che intercorrono tra le accensioni settimanali di lavatrice e lavastoviglie. Una analisi approfondita permette di riconoscere i pattern abituali delle utenze individuando le similarità di comportamento ed è anche possibile distinguere le diverse giornate grazie alla riduzione notturna dei consumi. Questo consente di concludere che il simulatore permette di simulare due caratteristiche tipiche della domanda di energia elettrica ossia la variabilità e la anelasticità.



**Figura 29. – Profilo elettrico dell'appartamento 1 nell'arco di un anno**



**Figura 30. – Profilo elettrico dell'appartamento 2 nell'arco di un anno**



**Figura 31. – Profilo elettrico dell'appartamento 3 nell'arco di un anno**

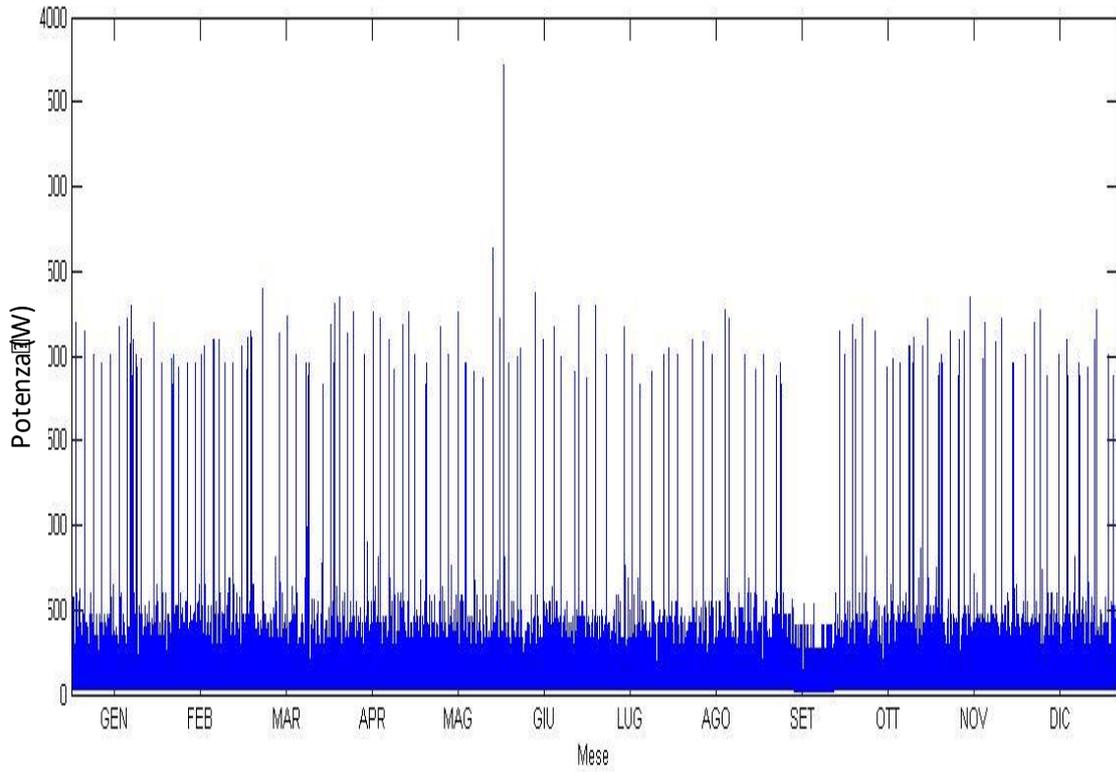


Figura 32. – Profilo elettrico dell'appartamento 4 nell'arco di un anno

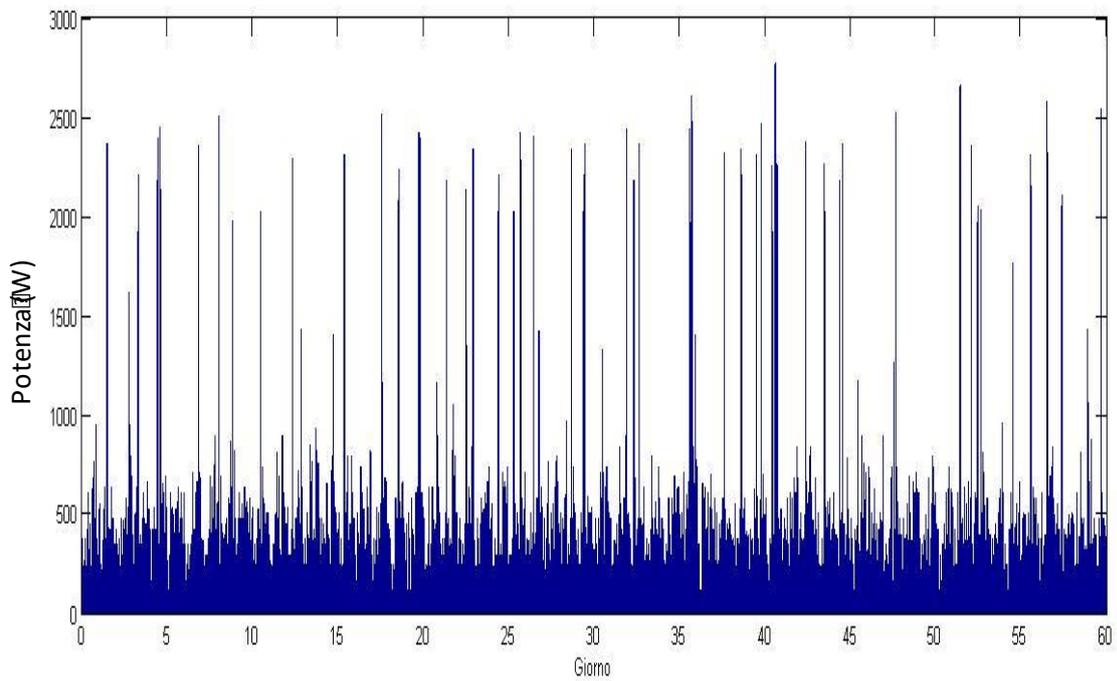
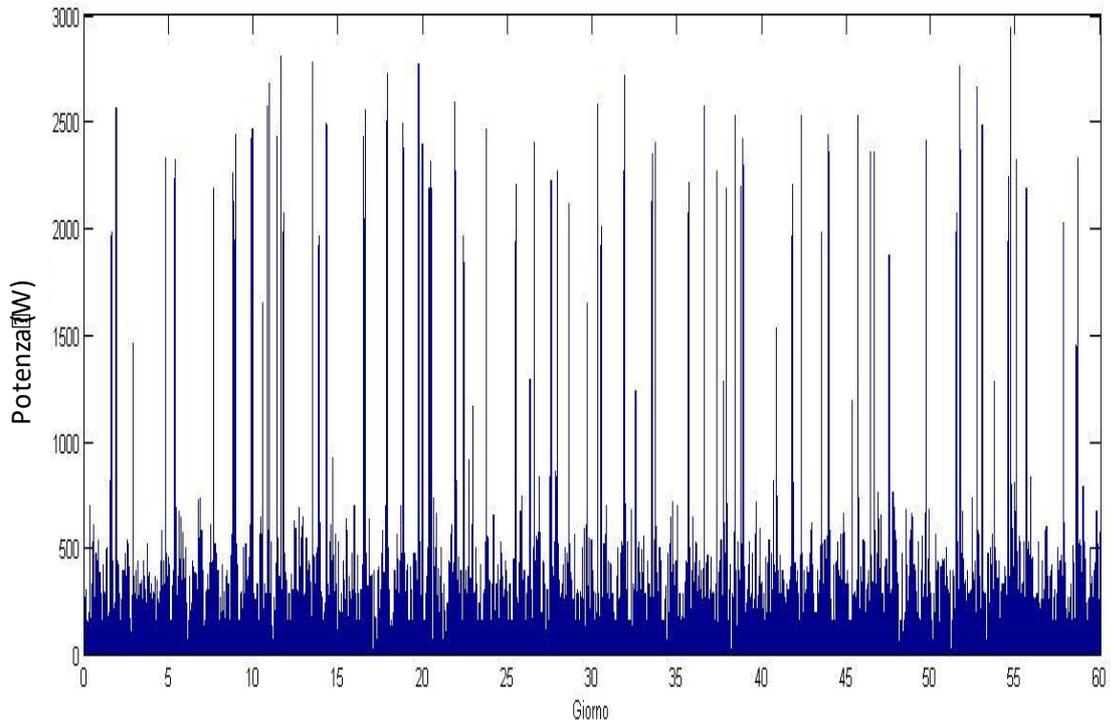
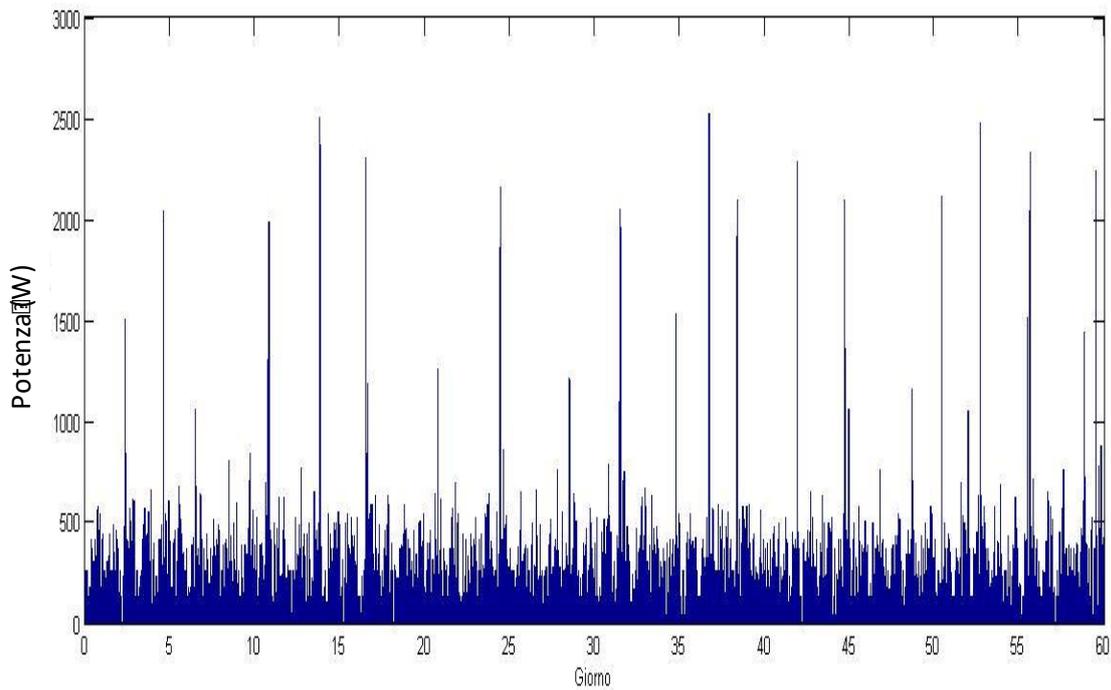


Figura 33. – Profilo elettrico dell'appartamento 1 in un periodo di 2 mesi



**Figura 34. – Profilo elettrico dell'appartamento 2 in un periodo di 2 mesi**



**Figura 35. – Profilo elettrico dell'appartamento 3 in un periodo di 2 mesi**

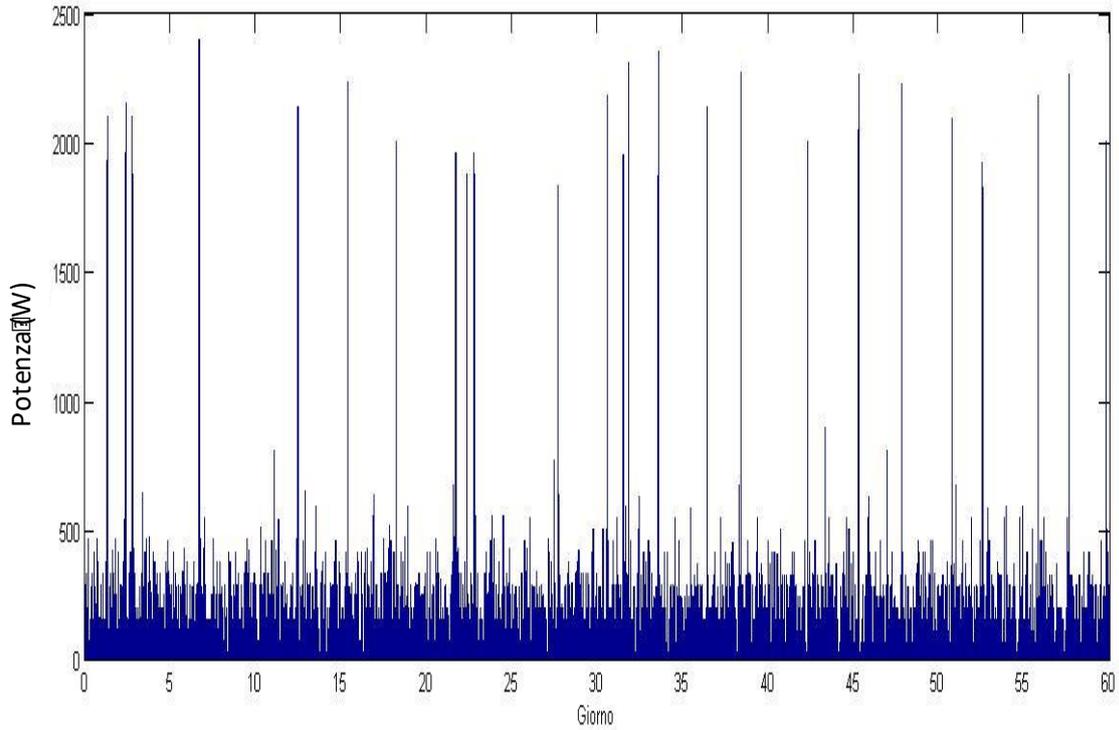


Figura 36. – Profilo elettrico dell'appartamento 4 in un periodo di 2 mesi

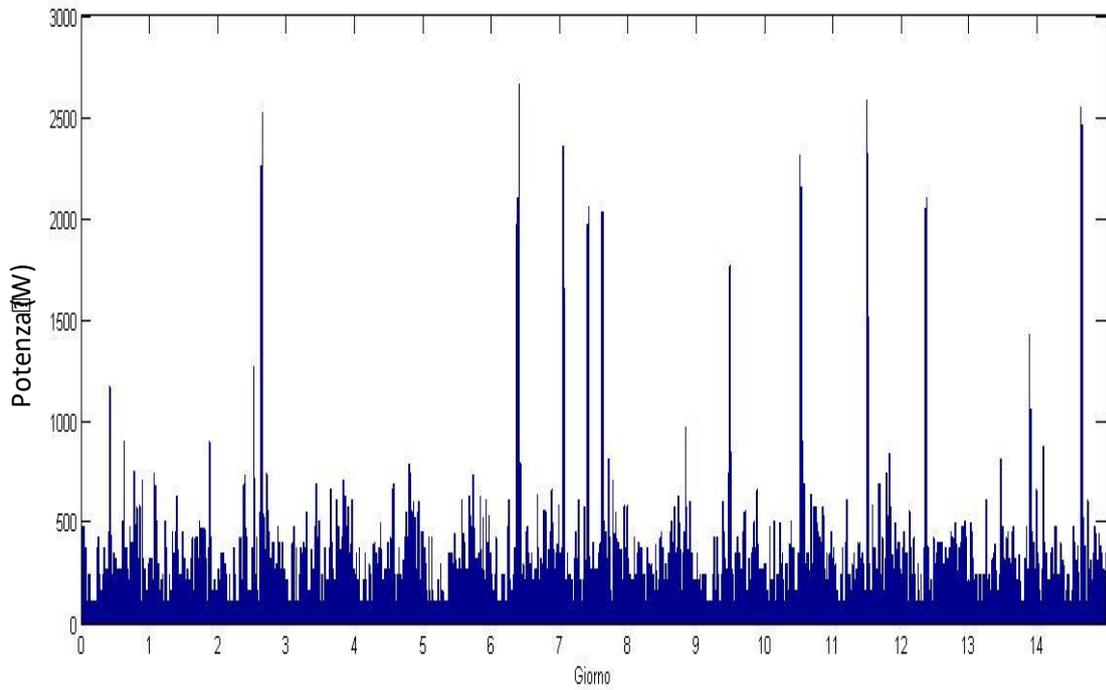
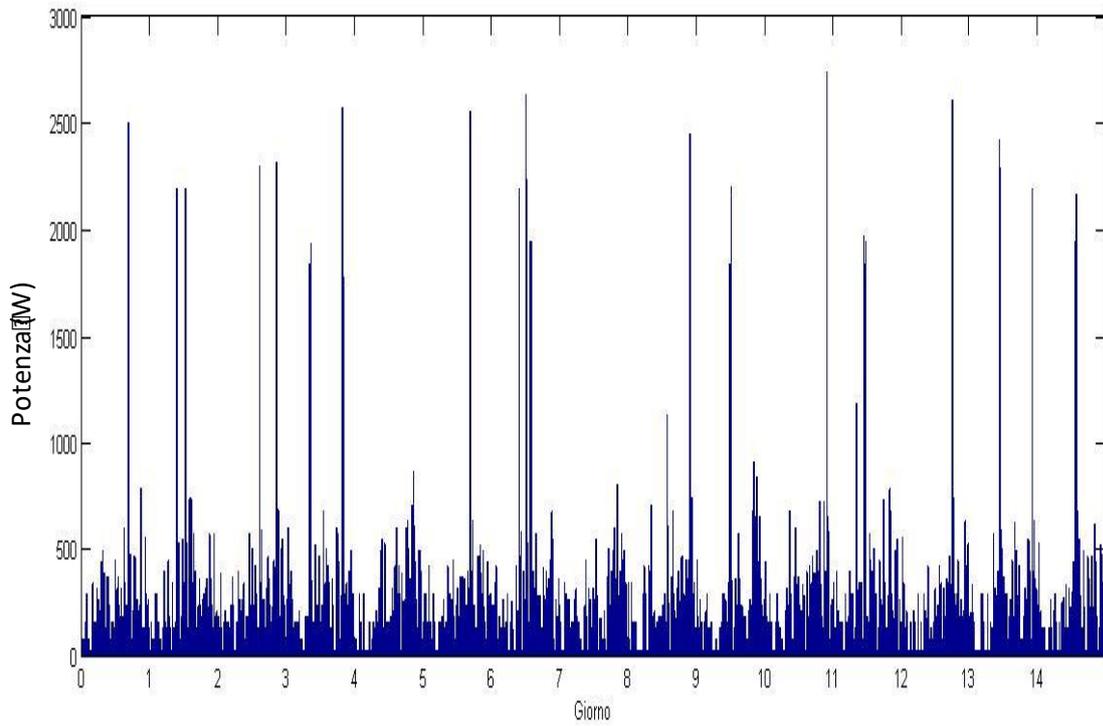
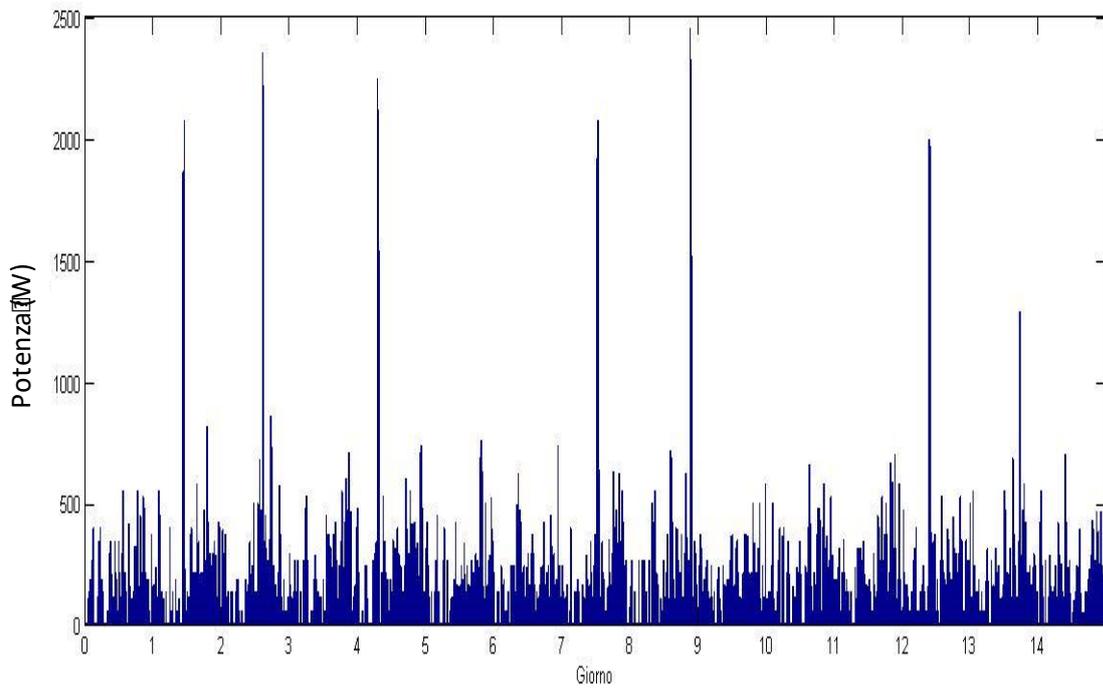


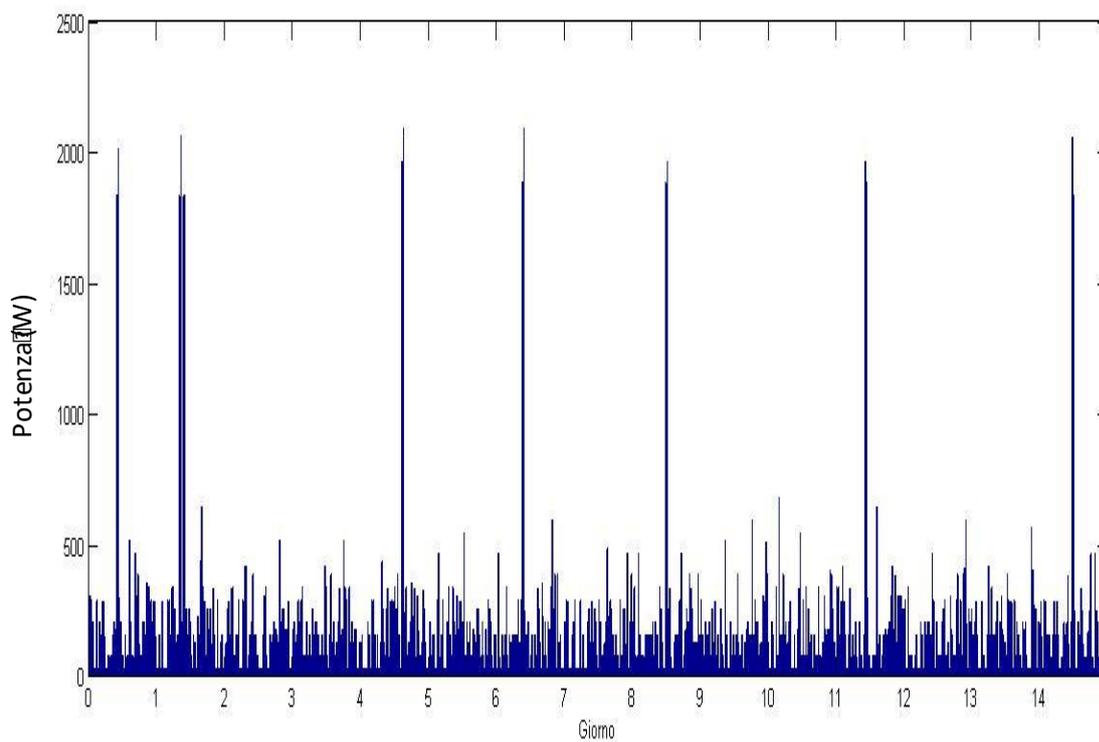
Figura 37. – Profilo elettrico dell'appartamento 1 per un periodo di 15 giorni



**Figura 38. – Profilo elettrico dell'appartamento 2 per un periodo di 15 giorni**



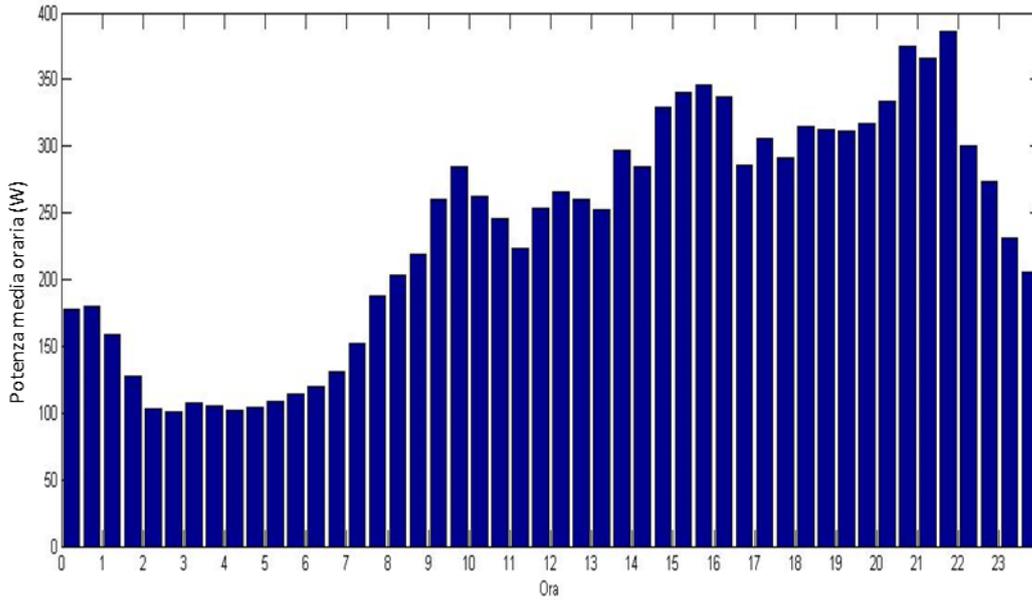
**Figura 39. – Profilo elettrico dell'appartamento 3 per un periodo di 15 giorni**



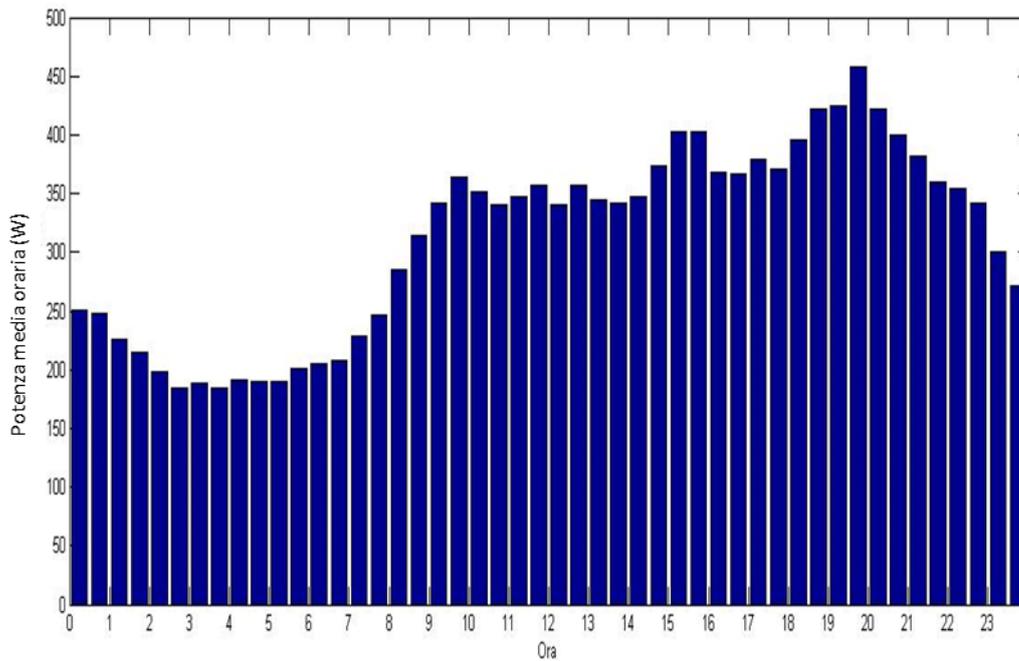
**Figura 40. – Profilo elettrico dell'appartamento 4 per un periodo di 15 giorni**

*Consumi medi e KPI*

Il simulatore di consumi elettrici è utile per definire potenziali KPI del singolo appartamento che potranno essere di utilità per fornire all'utente/consumatore feed-back utili sulle proprie abitudini e sul proprio profilo di consumo.



**Figura 41. – Andamento della potenza media oraria dell'appartamento 1, ottenuto come media su 2 anni**



**Figura 42. – Andamento della potenza media oraria dell'appartamento 2, ottenuto come media su 2 anni**

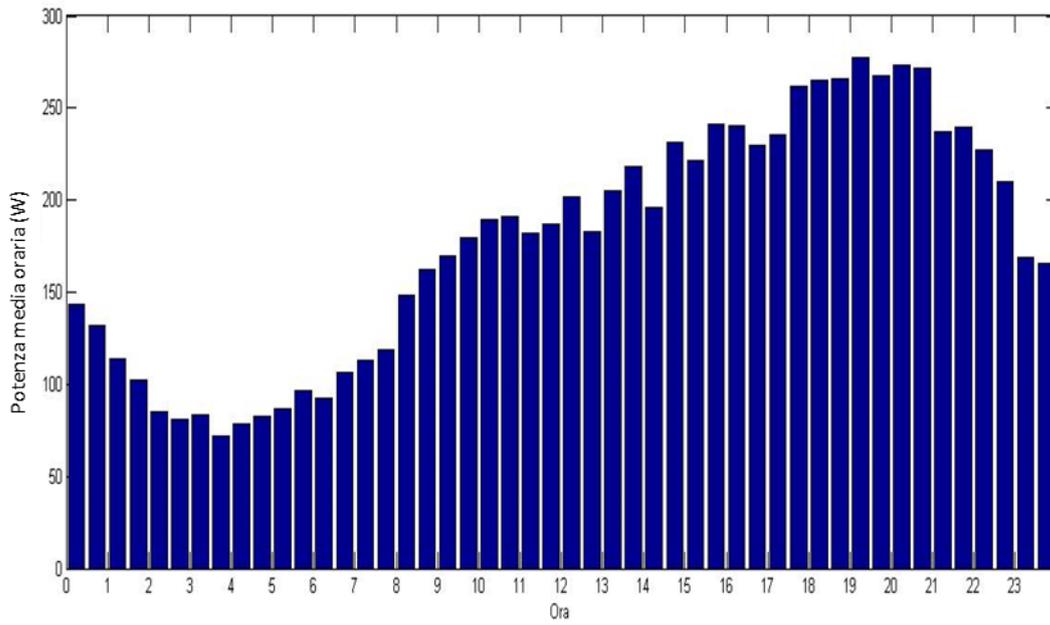


Figura 43. – Andamento della potenza media oraria dell'appartamento 3, ottenuto come media su 2 anni

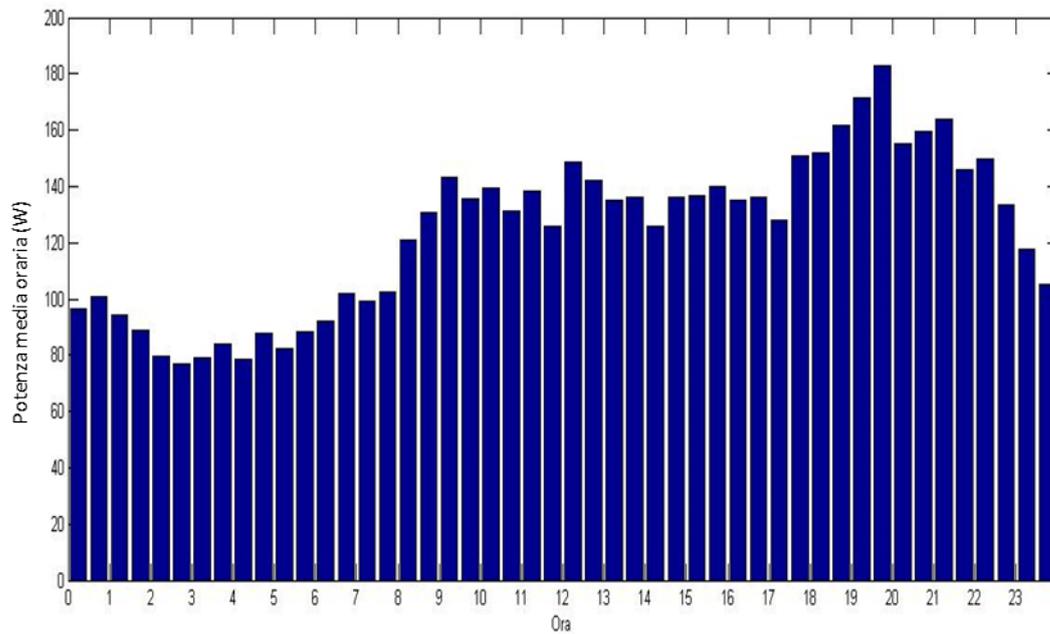
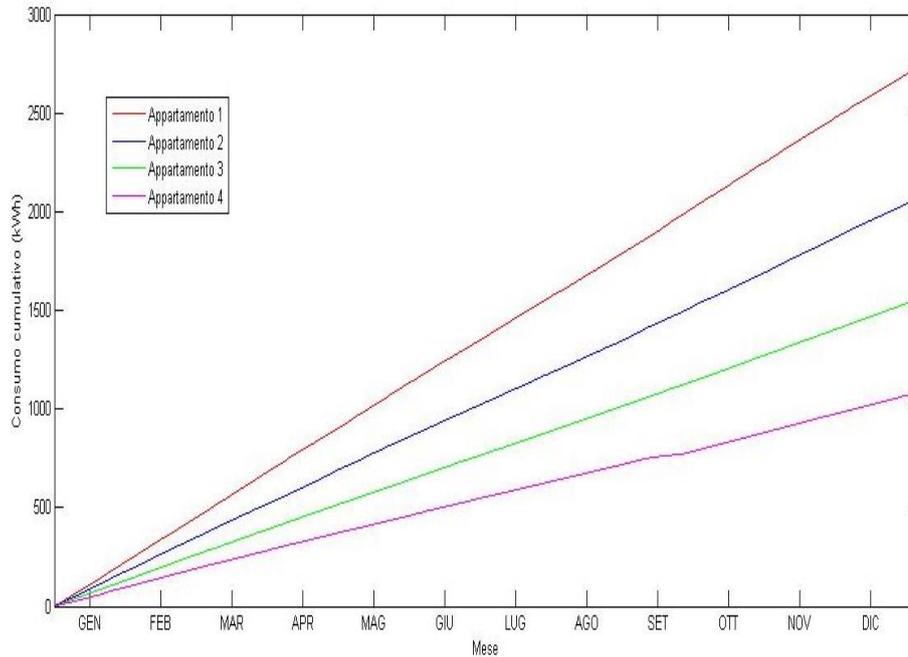


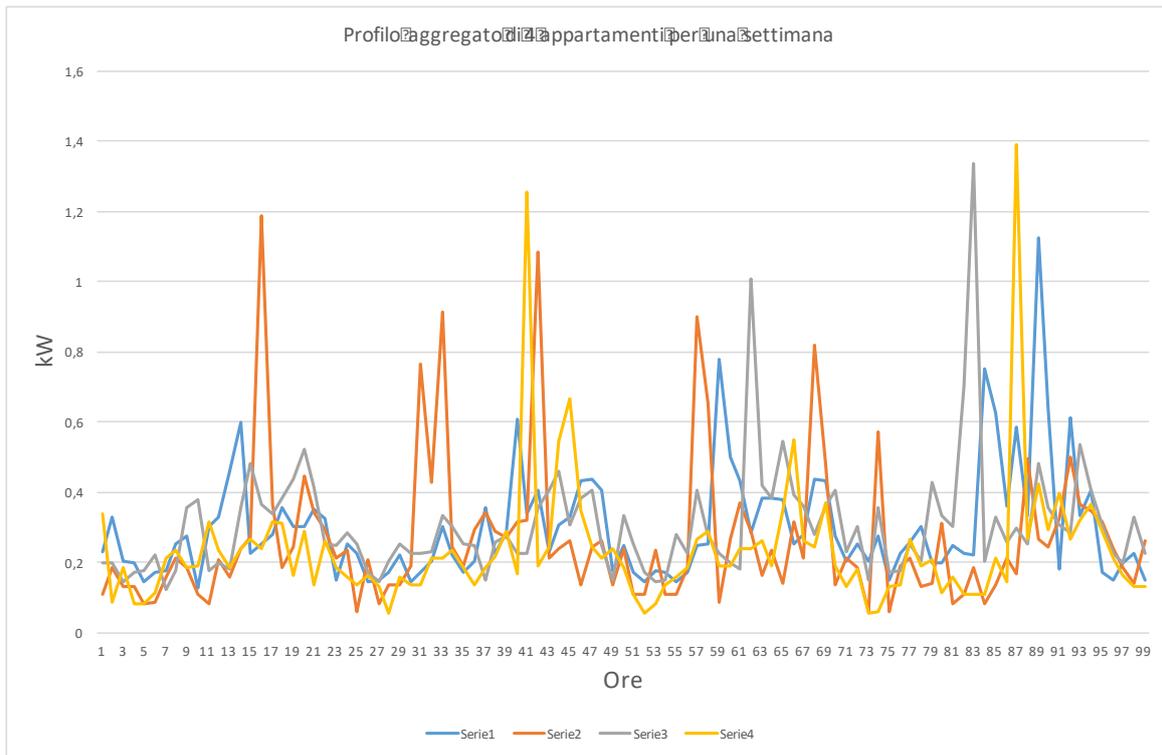
Figura 44. – Andamento della potenza media oraria dell'appartamento 4, ottenuto come media su 2 anni

La Figura 45 riporta le curve dei consumi cumulati dei singoli appartamenti: l'andamento lineare di queste curve denota un consumo medio mensile pressoché costante dei singoli appartamenti. È importante ricordare che questi consumi non includono eventuali consumi legati a sistemi HVAC.



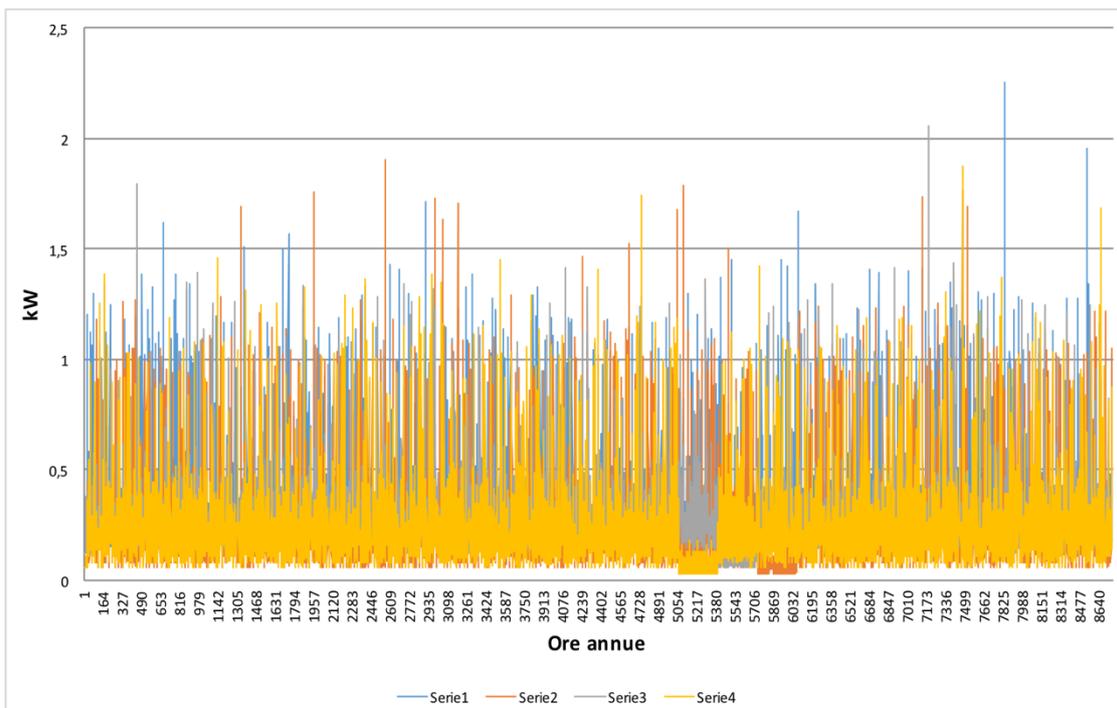
**Figura 45. – Curva dei consumi cumulativi per ognuno dei 4 appartamenti messi a confronto**

La Figura 46 riporta il risultato della simulazione del profilo orario di 4 appartamenti su 4 giorni. La figura mostra chiaramente il forte carattere aleatorio dell'utenza simulata. Questo aspetto permette alla simulazione di ottenere una elevata verosimiglianza con possibili andamenti reali, e risulta quindi di fondamentale importanza per le successive applicazioni del simulatore, specialmente in ottica di demand response.



**Figura 46. – Simulazione del consumo di 4 appartamenti (4 giorni)**

La Figura 47 riporta, a titolo di esempio, la simulazione del consumo di quattro appartamenti in un anno: si può notare, per almeno due appartamenti (serie in giallo e arancione) le settimane di ferie scelte dal simulatore, in cui è presente solo il carico di base degli stand-by.



**Figura 47. – Simulazione del consumo di 4 appartamenti in un anno**

### 1.2.1 Sviluppo di un simulatore della domanda di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento

Gli strumenti utilizzati per la modellazione e la simulazione dinamica energetica degli edifici residenziali sono: il software EnergyPlus ed il software Design Builder. Nello specifico EnergyPlus è un programma di simulazione molto diffuso che consente di ottenere approfondite analisi degli aspetti energetici di edifici. Esso garantisce una elevata accuratezza delle grandezze simulate ed è considerato uno strumento molto affidabile nel settore. Energy Plus tuttavia è un software console-based, dove sia i dati di input che i dati di output sono inseriti in file testuali e tutti i comandi vengono impartiti da console. La mancanza di un'interfaccia "User-Friendly" dunque fa nascere la necessità dell'utilizzo di un programma aggiuntivo per un editing più intuitivo e rapido dei modelli e dei parametri necessari per la simulazione. A tal fine è stato selezionato il software Design Builder. Questo software comporta molti vantaggi, primo fra tutti la possibilità di editare i modelli con un elevato grado di dettaglio attraverso semplici form predisposti.

#### Energy Plus

Energy Plus è un programma di simulazione energetica di edifici open source realizzato dallo U.S. Department of Energy Building Technologies Office e rilasciato con due aggiornamenti annuali. È basato sui programmi BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e DOE-2, i quali sono stati sviluppati negli anni '80 per poter eseguire stime e simulazioni sulle condizioni ambientali e sui carichi energetici degli edifici con un approccio multi-zona. Energy Plus consente, attraverso una simulazione dinamica, la stima dei carichi energetici di una struttura edilizia anche molto complessa. Permette inoltre di condurre un'analisi integrata sul rendimento energetico dell'edificio in esame e degli impianti che ne fanno parte con la possibilità dello studio del benessere termo-igrometrico degli occupanti. Il software ha raggiunto allo stato attuale una notevole diffusione insieme ad elevate prestazioni che ne fanno uno dei più affidabili strumenti di simulazione presenti nel settore. Attualmente è lo strumento più utilizzato per la diagnosi energetica degli edifici includendo un numero molto alto di funzioni e possibilità di calcolo tra le quali vale la pena ricordare:

- Calcolo dello stato termico delle zone e della risposta dei sistemi HVAC;
- Soluzioni basate sul bilancio termico degli effetti radiativi e convettivi con calcolo delle temperature delle superfici, della stima del comfort termico e dei fenomeni di condensa;
- Tempo di campionamento selezionabile dall'utente fino ad una risoluzione minima del minuto.
- Modelli combinati calore-massa per la modellazione di spostamenti di masse d'aria tra le zone termiche;
- Modelli avanzati di superfici vetrate e finestrate aperte. È possibile controllare l'apertura delle tende oscuranti ed il livello di oscuranti elettrochimici. Il software prevede inoltre un modello di bilancio termico layer-by-layer per calcolare gli effetti della radiazione solare assorbita tramite le superfici vetrate.
- Modelli per il calcolo del livello di illuminazione e ombreggiamento negli ambienti al fine della determinazione del livello di confort visivo.
- Possibilità di modellare i sistemi HVAC componente per componente o in modo semplificato (tramite semplice rendimento). I componenti dei sistemi HVAC sono selezionabili all'interno di una vasta libreria.
- Possibilità di utilizzare controlli già predisposti nel software per i sistemi HVAC e per il controllo dell'illuminazione interna.
- Supporto del Functional Mock-up Interface (FMI) per la co-simulazione con altri software.
- Possibilità di ottenere come output rapporti dettagliati preformattati o definibili dall'utente con dati di riepilogo su base mensile e annuale.

#### Design Builder

Questo software permette l'editing mediante interfaccia strutturata dei modelli di input necessari in EnergyPlus. Le simulazioni possono essere poi condotte direttamente in Design Builder utilizzando Energy Plus come motore di simulazione oppure esternamente, mediante il solo Energy Plus, esportando i modelli nel formato IDF. Design Builder permette l'inserimento della geometria degli edifici in esame mediante un cad semplificato. Le stratigrafie ed i parametri fisici dei materiali da costruzione utilizzati, i componenti dei sistemi HVAC ed i profili degli occupanti possono essere impostati attraverso un'interfaccia strutturata. È previsto un database con materiali e profili già preimpostati, inoltre è possibile creare template propri da riutilizzare. Design Builder permette quindi una maggiore facilità nell'inserimento dei modelli rispetto al solo Energy Plus. I principali parametri e dati da impostare sono:

- Dati meteorologici, attraverso file nei formati compatibili con EnergyPlus;
- Geometria dell'edificio (tramite cad), comprese finestre e porte, definendo automaticamente il numero di zone termiche per la simulazione;
- Parametri strutturali dell'edificio (stratigrafie e parametri fisici dei materiali);
- Illuminazione degli ambienti;
- Profili di occupazione, apporti gratuiti e consumi di eventuali apparecchiature utilizzate;
- Caratteristiche dei sistemi HVAC.

Gli impianti HVAC possono essere modellati componente per componente oppure in modo semplificato (impianto ideale) andando a definire solamente i rendimenti ed i limiti di funzionamento. La modellazione semplificata degli impianti è utile quando non si hanno informazioni dettagliate sulla struttura dei sistemi HVAC o non è necessario una tale livello di dettaglio nel particolare studio che si sta svolgendo.

#### **Definizione di “use case” termici**

Una volta definiti gli strumenti utilizzati per la modellazione della domanda di energia termica/frigorifera degli appartamenti, è necessario definire la metodologia da utilizzare per costruire uno strumento in grado di simulare una domanda di energia termica/frigorifera che sia verosimile e rappresentativa delle utenze residenziali che si intende studiare. Per fare questo, sono stati definiti dei casi d'uso (use case) che fossero rappresentativi della platea di appartamenti oggetto dello studio. Il primo passo per la definizione dei “casi d'uso” è stato quello di trovare degli studi o delle statistiche che potessero essere di aiuto nella comprensione della composizione dell'utenza sia per quanto riguarda le differenti tipologie (tipologia di struttura/anno di costruzione, superficie media degli appartamenti, tipologia di impianto) sia per quanto riguarda la loro diffusione (suddivisione percentuale delle varie tipologie).

La maggior parte dei dati statistici utilizzati sono stati presi dal 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni 2011, realizzato dall'Istat [13]. Il data warehouse del 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni contiene informazioni sulla struttura demografica e sociale della popolazione italiana e sul patrimonio abitativo italiano. La data di riferimento delle informazioni diffuse è il 9 ottobre 2011. In particolare, sono stati utilizzate le statistiche relative al tema “alloggi ed edifici”. Questi dati sono disponibili per diversi gradi di dettaglio geografico a partire da ogni città per poi salire in forma aggregata a livello di provincia, regione e nazione (Figura 48).

I dati statistici presi in considerazione per la definizione dei casi d'uso termici sono:

- dati statistici riguardo le strutture esistenti nel parco edilizio residenziale;
- dati statistici relativi alle dimensioni degli edifici residenziali italiani;
- dati sugli impianti di riscaldamento e raffrescamento maggiormente diffusi in ambito domestico;
- dati sul tipo di vettore energetico che alimentano gli impianti di riscaldamento e raffrescamento;
- gli andamenti temporali dell'utilizzo degli impianti in relazione alle abitudini degli occupanti, effettuando ricerche sui periodi statistici di ferie fuori casa usufruite dai residenti italiani.

L'analisi dei dati statistici ha consentito di stabilire le principali caratteristiche di use case da modellare. In particolare si è deciso di modellare (Tabella 1): 4 tipologie di struttura (periodi di costruzione); 3 superfici di appartamento, 3 tipologie di impianto e 3 profili di utenza, per un totale di 108 casi d'uso. Dai dati statistici per la città di Roma (Tabella 2) è stato possibile vedere la percentuale di abitazioni per ciascuna delle

categorie presentate in Tabella 1; in questo modo è stato possibile: da un lato, avere una statistica che permettesse di costruire una domanda aggregata di energia termica verosimile (Paragrafo 1.2.2); dall'altro lato, ha permesso di individuare un caso d'uso rappresentativo di un buon numero di utenze (

Tabella 3) su cui simulare differenti scenari di monitoraggio (Paragrafo 1.3).

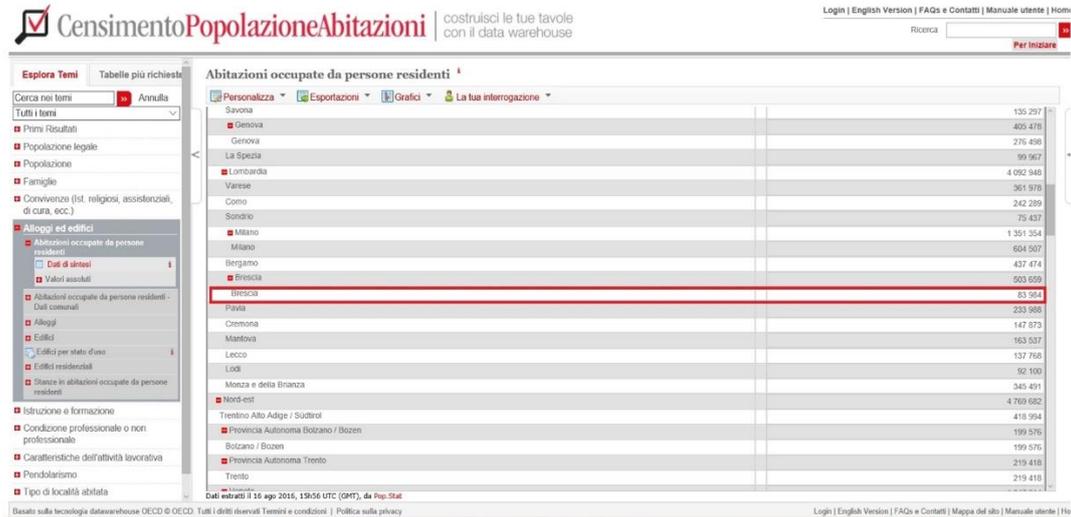


Figura 48. Pagina del data warehouse del 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni

Tabella 1 – Principali caratteristiche degli use case

Anno struttura	Metraglia (mq)	Impianto	Profilo
Pre- 1900 (per centri storici)	60	Solo radiatore	Lavoratore pendolare (non torna a pranzo)
1961-1975	80	Radiatore + split	Lavoratore
1976-90	100 con una stanza in più	Pompa di calore	Casalinga
1991-2005			

Tabella 2 – Statistiche per la città di Roma

Numero e percentuale delle abitazioni della città di Roma occupate da persone residenti suddivise per le classi costruttive di interesse				
CLASSE 1, fino 1900	CLASSE 5, dal 1961 al 1975	CLASSE 6, dal 1976 al 1990	CLASSE 7, dal 1991 al 2005,	Totale
43080	299490	323449	88712	754731
6%	40%	43%	12%	100%
Numero e percentuale delle abitazioni della città di Roma occupate da persone residenti per dimensioni superficiali di interesse (mq)				
60 mq (60-79mq)	80 mq (80-99mq)	100 mq (100-119mq)	Totale	
319390	268298	149170	736858	
43%	36%	20%	100%	
Numero e percentuale di abitazioni della città di Roma occupate da persone residenti suddivise per tipologia di combustibile utilizzato per la climatizzazione				
Metano + gasolio (caldaia e caldaia + split system)	Energia elettrica (pompa di calore)		Totale	
1064755	69577		1134332	
94%	6%		100%	
Percentuale delle abitazioni della zona climatica D dotate del solo impianto di riscaldamento e caratterizzate dall'impianto di riscaldamento e di raffrescamento				

Riscaldamento	Riscaldamento e raffrescamento	Totale	
0,691	0,249	0,94	
74%	26%	100%	
Percentuale delle abitazioni della città di Roma suddivise in relazione alla tipologia di impianto di climatizzazione			
Caldaia	Caldaia + split system	Pompa di calore	Totale
69%	25%	6%	100%

**Tabella 3 – tipologia di utenza scelta per la successiva simulazione di “scenari di monitoraggio”**

Anno struttura	Metraglia (mq)	Impianto	Profilo
1976-90	80	Radiatore + split	Lavoratore

### Caratterizzazione dei materiali e stratigrafie per epoca costruttiva

Le epoche costruttive scelte in base all’analisi statistica sono state caratterizzate in dettaglio in termini di materiali costruttivi utilizzati, stratigrafie e parametri fisici dei materiali impiegati. Tutte queste informazioni sono state inserite in Design Builder per la costruzione dei modelli di input alle simulazioni. Le informazioni sono state prese da uno studio condotto da Enea nell’area Massimina di Roma. In questo studio sono riportate per epoche costruttive i materiali e le stratigrafie principali usate per le diverse parti delle abitazioni (pareti esterne, basamento, solai, etc.) insieme ai principali parametri fisici (spessori, trasmittanze, densità, etc.). La Tabella 4 mostra una sintesi delle particolari strutture usate per le diverse parti delle abitazioni nelle diverse epoche con i valori di trasmittanza tipici complessivi.

**Tabella 4. Tecnologie costruttive per epoca di riferimento con valori di trasmittanza tipici in  $W/(m^2 K)$ .**

TECNOLOGIE COSTRUTTIVE		EPOCHE COSTRUTTIVE			
		1949 -1962	1962-1977	1977-1984	1984-1991
MUR 01	Blocchi di tufo con intonaco su entrambi i lati	1,3	1,3		
MUR 02	Blocchi di tufo con rivestimento in cortina	1,3	1,3		
MUR 03	Parete a cassa vuota con intonaco su entrambi i lati		1,1	1,1	
MUR 04	Parete a cassa vuota con rivestimento esterno in cortina		1,1	1,1	
MUR 05	Parete a cassa vuota con isolamento interno e intonaco su entrambi i lati			0,6	0,6
MUR 06	Parete a cassa vuota con isolamento interno e rivestimento esterno in laterizio			0,6	0,6
SCP 01	Soletta piana in laterocemento senza isolamento	1,7	1,7		
SCP 02	Soletta piana in laterocemento con isolamento		0,8	0,8	0,8
SCP 03	Falda in laterizio senza isolamento	1,8	1,8		
SCP 04	Falda in laterizio con isolamento			1	1
SOL 01	Solaio in laterocemento			1,1	1,1

SOL 02	Solaio a profilati in acciaio e tavelloni in laterizio	0,9	0,9	0,9	
SOL 03	Basamento in calcestruzzo su terreno	1,5	1,5	1,5	

Una volta determinati i parametri dei materiali e le stratigrafie, tutte queste informazioni sono state inserite in Design Builder. Nello specifico, per ciascuna sezione di edificio (parete esterna, basamento, solaio, etc.) è stata creata una scheda con tutti i parametri della sezione. Le Figure da Figura 49 a Figura 64 riportano la caratterizzazione delle principali sezioni degli edifici che sono state aggiunte al database materiali in Design Builder.

Sezione	Superficie più interna	
<p>Superficie esterna</p> <p>Superficie interna</p>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	2,152
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,130
	<b>Superficie più esterna</b>	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	19,870
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,130
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,040
	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,447
	Valore-R (mq-K/W)	0,861
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,162</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>	
	Spessore muro (m)	0,5800
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	140,4480
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,861
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,861	
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,447	
Valore-R (mq-K/W)	0,861	
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,162</b>	

Figura 49. Scheda parametri: Muratura di pietra listata con mattoni.

Sezione	Superficie più interna	
<p>Superficie esterna</p> <p>Superficie interna</p>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	2,152
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,130
	<b>Superficie più esterna</b>	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	19,870
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,130
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,040
	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,442
	Valore-R (mq-K/W)	0,863
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,158</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>	
	Spessore muro (m)	0,3500
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	96,0960
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,863
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,863	
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,442	
Valore-R (mq-K/W)	0,863	
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,158</b>	

Figura 50. Scheda parametri: Muratura a cassa vuota in mattoni forati con intonaco su entrambi i lati.

Sezione	Superficie più interna
<b>Superficie esterna</b>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K) 2,152
20,00mm Cement/plaster/mortar - cement mortar Dry	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K) 5,540
60,00mm Glass fibre/wool - fibre strawboard like	Resistenza di superficie (mq-K/W) 0,130
150,00mm Concrete blocks/tiles - block, hollow, lightweight, 150x	<b>Superficie più esterna</b>
20,00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K) 19,870
<b>Superficie interna</b>	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K) 5,130
	Resistenza di superficie (mq-K/W) 0,040
	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K) 0,937
	Valore-R (mq-K/W) 1,238
	<b>Valore-U (W/mq-K) 0,808</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>
	Spessore muro (m) 0,2500
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K) 88,7040
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W) 1,238
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W) 1,238
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K) 0,937
	Valore-R (mq-K/W) 1,238
	<b>Valore-U (W/mq-K) 0,808</b>

Figura 51. Scheda parametri. Muratura in mattoni forati (25 cm), basso livello di isolamento.

Sezione	Superficie più interna
<b>Superficie esterna</b>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K) 2,152
30,00mm Cement/plaster/mortar - cement mortar Dry	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K) 5,540
120,30mm Concrete blocks/tiles - block, hollow, lightweight, 150x	Resistenza di superficie (mq-K/W) 0,130
30,00mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)	<b>Superficie più esterna</b>
50,00mm Air gap 50mm (downwards)	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K) 19,870
80,00mm Concrete blocks/tiles - block, hollow, lightweight, 150x	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K) 5,130
30,00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster	Resistenza di superficie (mq-K/W) 0,040
<b>Superficie interna</b>	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K) 0,689
	Valore-R (mq-K/W) 1,621
	<b>Valore-U (W/mq-K) 0,617</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>
	Spessore muro (m) 0,3400
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K) 96,0960
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W) 1,621
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W) 1,621
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K) 0,689
	Valore-R (mq-K/W) 1,621
	<b>Valore-U (W/mq-K) 0,617</b>

Figura 52. Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (30 e oltre), medio livello di isolamento.

Sezione	Superficie più interna
<b>Superficie interna</b>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K) 4,460
30,00mm Cement/plaster/mortar - cement screed	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K) 5,540
100,00mm Cast Concrete (Lightweight)	Resistenza di superficie (mq-K/W) 0,100
100,00mm Mineral aggregate (sand/gravel) /std	<b>Superficie più esterna</b>
<b>Superficie esterna</b>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K) 0,342
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K) 5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W) 0,170
	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K) 2,661
	Valore-R (mq-K/W) 0,646
	<b>Valore-U (W/mq-K) 1,548</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>
	Spessore muro (m) 0,2500
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K) 142,9500
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W) 0,646
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W) 0,646
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K) 2,661
	Valore-R (mq-K/W) 0,646
	<b>Valore-U (W/mq-K) 1,548</b>

Figura 53. Basamento in calcestruzzo su terreno CLASSE 1.

Sezione	Superficie più interna	
Superficie interna	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
30,00mm Cement/plaster/mortar - cement screed	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
100,00mm Cast Concrete (Lightweight)	<b>Superficie più esterna</b>	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	0,342
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,170
200,00mm Miscellaneous materials - aggregate sand/gravel/ston	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,036
	Valore-R (mq-K/W)	0,761
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,314</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>	
	Spessore muro (m)	0,4000
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	142,9500
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,761
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,761
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,036
	Valore-R (mq-K/W)	0,761
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,314</b>
Superficie esterna		

Figura 54. Basamento in calcestruzzo su terreno CLASSE 5.

Sezione	Superficie più interna	
Superficie interna	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
30,00mm Cement/plaster/mortar - cement screed	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
10,00mm EPS Expanded Polystyrene (Heavyweight) (fuori scala)	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
100,00mm Cast Concrete (Lightweight)	<b>Superficie più esterna</b>	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	0,342
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,170
200,00mm Miscellaneous materials - aggregate sand/gravel/ston	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,287
	Valore-R (mq-K/W)	1,047
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>0,955</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>	
	Spessore muro (m)	0,4100
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	131,3000
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	1,047
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	1,047
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,287
	Valore-R (mq-K/W)	1,047
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>0,955</b>
Superficie esterna		

Figura 55. Basamento in calcestruzzo su terreno CLASSE 6.

Sezione	Superficie più interna	
Superficie interna	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
30,00mm Cement/plaster/mortar - cement screed	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
20,00mm EPS Expanded Polystyrene (Heavyweight) (fuori scala)	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
100,00mm Cast Concrete (Lightweight)	<b>Superficie più esterna</b>	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	0,342
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,170
200,00mm Miscellaneous materials - aggregate sand/gravel/ston	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	0,941
	Valore-R (mq-K/W)	1,333
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>0,750</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>	
	Spessore muro (m)	0,4200
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	119,6500
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	1,333
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	1,333
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	0,941
	Valore-R (mq-K/W)	1,333
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>0,750</b>
Superficie esterna		

Figura 56. Basamento in calcestruzzo su terreno CLASSE 7.

Sezione	Superficie più interna	
<p>Superficie interna</p>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
	Superficie più esterna	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	0,342
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,170
	Nessuno strato termicamente eterogeneo	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	4,257
	Valore-R (mq-K/W)	0,505
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,981</b>	
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)		
Spessore muro (m)	0,2550	
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	125,0760	
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,505	
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,505	
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	4,257	
Valore-R (mq-K/W)	0,505	
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,981</b>	

Figura 57. Solaio a volte in laterizio.

Sezione	Superficie più interna	
<p>Superficie interna</p>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
	Superficie più esterna	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	0,342
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,170
	Nessuno strato termicamente eterogeneo	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,490
	Valore-R (mq-K/W)	0,672
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,489</b>	
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)		
Spessore muro (m)	0,2550	
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	131,8800	
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,672	
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,672	
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,490	
Valore-R (mq-K/W)	0,672	
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,489</b>	

Figura 58. Solaio latero-cementizio.

Sezione	Superficie più interna	
<p>Superficie interna</p>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
	Superficie più esterna	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	0,342
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,170
	Nessuno strato termicamente eterogeneo	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,455
	Valore-R (mq-K/W)	0,957
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,045</b>	
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)		
Spessore muro (m)	0,2650	
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	120,4700	
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,957	
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,957	
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,455	
Valore-R (mq-K/W)	0,957	
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,045</b>	

Figura 59. Solaio latero-cementizio, basso livello di isolamento.

Sezione	Superficie più interna	
	Superficie interna	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
	Superficie più esterna	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	0,342
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,170
	Nessuno strato termicamente eterogeneo	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,028
Valore-R (mq-K/W)	1,243	
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>0,805</b>	
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)		
Spessore muro (m)	0,2750	
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	109,0600	
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	1,243	
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	1,243	
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	1,028	
Valore-R (mq-K/W)	1,243	
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>0,805</b>	
Superficie esterna		

Figura 60. Solaio latero-cementizio, medio livello di isolamento.

Sezione	Superficie più interna	
	Superficie esterna	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
	Superficie più esterna	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	19,870
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,130
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,040
	Nessuno strato termicamente eterogeneo	
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,469
Valore-R (mq-K/W)	0,545	
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,835</b>	
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)		
Spessore muro (m)	0,0750	
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	26,3925	
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,545	
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,545	
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,469	
Valore-R (mq-K/W)	0,545	
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,835</b>	
Superficie interna		

Figura 61. Tetto a falde con struttura in tavolato in legno.

Sezione	Superficie più interna	
<b>Superficie esterna</b>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
30,00mm Clay Tile (roofing)	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
30,00mm 2010 NCM Reinforced Concrete	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
	<b>Superficie più esterna</b>	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	19,870
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,130
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,040
	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>	
180,00mm Concrete, cast - expanded clay filling	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,697
	Valore-R (mq-K/W)	0,511
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,958</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>	
20,00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster	Spessore muro (m)	0,2600
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	123,6480
<b>Superficie interna</b>	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,511
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,511
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,697
	Valore-R (mq-K/W)	0,511
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,958</b>

Figura 62. Tetto a falde in laterizio.

Sezione	Superficie più interna	
<b>Superficie esterna</b>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	4,460
30,00mm Clay Tile (roofing)	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
40,00mm EPS Expanded Polystyrene (Lightweight)	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,100
30,00mm 2010 NCM Reinforced Concrete	<b>Superficie più esterna</b>	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	19,870
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,130
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,040
	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>	
180,00mm Concrete, cast - expanded clay filling	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	0,806
	Valore-R (mq-K/W)	1,380
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>0,724</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>	
20,00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster	Spessore muro (m)	0,3000
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	123,6480
<b>Superficie interna</b>	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	1,380
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	1,380
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	0,806
	Valore-R (mq-K/W)	1,380
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>0,724</b>

Figura 63. Tetto a falde in laterizio, medio livello di isolamento.

Sezione	Superficie più interna	
<b>Superficie esterna</b>	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	2,152
15,00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,540
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,130
	<b>Superficie più esterna</b>	
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	19,870
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5,130
	Resistenza di superficie (mq-K/W)	0,040
	<b>Nessuno strato termicamente eterogeneo</b>	
120,00mm Concrete blocks/tiles - block, mediumweight - 300mm	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,601
	Valore-R (mq-K/W)	0,555
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,803</b>
	<b>Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)</b>	
15,00mm Cement/plaster/mortar - cement plaster	Spessore muro (m)	0,1500
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	97,1460
<b>Superficie interna</b>	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,555
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,555
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	2,601
	Valore-R (mq-K/W)	0,555
	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>1,803</b>

Figura 64. Parete divisoria interna da 15cm.

Per ciascuna epoca costruttiva è stato successivamente creato un template, cioè una scheda comprendente tutte le informazioni costruttive per un edificio tipico dell'epoca considerata. Le figure da Figura 65 a Figura 68 riportano dettagliatamente le schede template. È possibile notare come questi template richi amino le schede delle sezioni con i parametri dei materiali costruttivi. Informazioni aggiuntive relative ai materiali e alle dimensioni delle superfici vetrate sono inserite in template a parte. Per quanto riguarda il parametro di ricambio d'aria è stato considerato per tutti i template un valore pari a 0.5 vol/h come da normativa odierna.

Generale	
<b>Nome</b>	<b>CLASSE 1, fino al 1900.</b>
Descrizione	
Fonte	
Categoria	Progetto
Regione	General
Pareti	
Esterno	Muratura di pietra listata con mattoni (60cm)
Controtterra	Below Grade Wall, R-11.0 (1.94), C-0.182 (1.03)
Interno	Parete divisoria interna da 15 cm
Semi-esposto	115mm single leaf brick (plastered both sides)
Sotto-superfici	
Sotto-superficie su parete esterna	100mm concrete slab
Sotto-superficie su parete interna	100mm concrete slab
Pavimenti/Solai/Soffitti Combinati	
Tetti piani	Flat roof 2000 regs
Soffitto semi-esposto	Flat roof 2000 regs
Pavimento semi-esposto	External floor - Energy code standard - Medium
Pavimento su terra	Basamento in calcestruzzo su terreno CLASS
Pavimento controtterra piano interrato	Basamento in calcestruzzo su terreno CLASS
Pavimento esterno	Solaio a volte in laterizio
Pavimento interno	Solaio a volte in laterizio
Tetti inclinati	
Tetti inclinati	Tetto a falde con struttura e tavolato in legno
Tetto inclinato (non occupato)	Tetto a falde con struttura e tavolato in legno
Sotto-superfici	
Sotto-superficie su tetto	100mm concrete slab
Porte	
Porte esterne	Wooden flush panel hollow core door (norma)
Porte interne	Solid hardwood door (normally hung)
Permeabilità all'aria	
<b>Template delle fessurazioni</b>	
Template delle fessurazioni	Project cracks
<input checked="" type="checkbox"/> Infiltrazione	
Tasso (vol/h)	0,5

Figura 65. Classe 1, fino al 1900.

Generale	
<b>Nome</b>	<b>CLASSE 5, dal 1961 al 1975</b>
Descrizione	
Fonte	
Categoria	Progetto
Regione	General
Pareti	
Esterno	Muratura a cassa vuota in mattoni forati con in
Controtterra	Below Grade Wall, R-11.0 (1.94), C-0.182 (1.03)
Interno	Parete divisoria interna da 15 cm
Semi-esposto	115mm single leaf brick (plastered both sides)
Sotto-superfici	
Sotto-superficie su parete esterna	100mm concrete slab
Sotto-superficie su parete interna	100mm concrete slab
Pavimenti/Solai/Soffitti Combinati	
Tetti piani	Flat roof 2000 regs
Soffitto semi-esposto	Flat roof 2000 regs
Pavimento semi-esposto	External floor - Energy code standard - Mediu
Pavimento su terra	Basamento in calcestruzzo su terreno CLASS
Pavimento controtterra piano interrato	Basamento in calcestruzzo su terreno CLASS
Pavimento esterno	Solaio latero-cementizio
Pavimento interno	Solaio latero-cementizio
Tetti inclinati	
Tetti inclinati	Tetto a falde in laterizio
Tetto inclinato (non occupato)	Tetto a falde in laterizio
Sotto-superfici	
Sotto-superficie su tetto	100mm concrete slab
Porte	
Porte esterne	Wooden flush panel hollow core door (norma
Porte interne	Solid hardwood door (normally hung)
Permeabilità all'aria	
<b>Template delle fessurazioni</b>	
<input type="checkbox"/> Template delle fessurazioni	Project cracks
<input checked="" type="checkbox"/> Infiltrazione	
Tasso (vol/h)	0.5

Figura 66. CLASSE 5, dal 1961 al 1975.

Generale	
<b>Nome</b>	<b>CLASSE 6, dal 1976 al 1990</b>
Descrizione	
Fonte	
Categoria	Progetto
Regione	General
Pareti	
Esterno	Muratura in mattoni forati (25 cm), basso livell
Controtterra	Below Grade Wall, R-11.0 (1.94), C-0.182 (1.03)
Interno	Parete divisoria interna da 15 cm
Semi-esposto	115mm single leaf brick (plastered both sides)
Sotto-superfici	
Sotto-superficie su parete esterna	100mm concrete slab
Sotto-superficie su parete interna	100mm concrete slab
Pavimenti/Solai/Soffitti Combinati	
Tetti piani	Flat roof 2000 regs
Soffitto semi-esposto	Flat roof 2000 regs
Pavimento semi-esposto	External floor - Energy code standard - Mediu
Pavimento su terra	Basamento in calcestruzzo su terreno CLASS
Pavimento controtterra piano interrato	Basamento in calcestruzzo su terreno CLASS
Pavimento esterno	Solaio latero-cementizio, basso livello di isol
Pavimento interno	Solaio latero-cementizio, basso livello di isol
Tetti inclinati	
Tetti inclinati	Tetto a falde in laterizio
Tetto inclinato (non occupato)	Tetto a falde in laterizio
Sotto-superfici	
Sotto-superficie su tetto	100mm concrete slab
Porte	
Porte esterne	Wooden flush panel hollow core door (norma
Porte interne	Solid hardwood door (normally hung)
Permeabilità all'aria	
<b>Template delle fessurazioni</b>	
<input type="checkbox"/> Template delle fessurazioni	Project cracks
<input checked="" type="checkbox"/> Infiltrazione	
Tasso (vol/h)	0.5

Figura 67. CLASSE 6, dal 1976 al 1990.

Generale

**Nome** **CLASSE 7, dal 1991 al 2005**

Descrizione

Fonte

Categoria Progetto

Regione General

Pareti

Esterno Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (30

Controtterra Below Grade Wall, R-11.0 (1.94), C-0.182 (1.03

Interno Parete divisoria interna da 15 cm

Semi-esposto 115mm single leaf brick (plastered both sides

Sotto-superfici

Sotto-superficie su parete esterna 100mm concrete slab

Sotto-superficie su parete interna 100mm concrete slab

Pavimenti/Solai/Soffitti Combinati

Tetti piani Flat roof 2000 regs

Soffitto semi-esposto Flat roof 2000 regs

Pavimento semi-esposto External floor - Energy code standard - Mediu

Pavimento su terra Basamento in calcestruzzo su terreno CLASS

Pavimento controtterra piano interrato Basamento in calcestruzzo su terreno CLASS

Pavimento esterno Solaio latero-cementizio, medio livello di isol

Pavimento interno Solaio latero-cementizio, medio livello di isol

Tetti inclinati

Tetti inclinati Tetto a falde in laterizio, medio livello di isola

Tetto inclinato (non occupato) Tetto a falde in laterizio, medio livello di isola

Sotto-superfici

Sotto-superficie su tetto 100mm concrete slab

Porte

Porte esterne Wooden flush panel hollow core door (norma

Porte interne Solid hardwood door (normally hung)

Permeabilità all'aria

Template delle fessurazioni

Molto povero Povero Medio Buono Eccellente

Template delle fessurazioni Project cracks

Infiltrazione

Tasso (vol/h) 0,5

Figura 68. CLASSE 7, dal 1991 al 2005.

I parametri caratteristici delle superfici vetrate, dei telai e delle schermature sono inseriti in template separati. Per la modellazione delle superfici vetrate relative alle epoche considerate sono state utilizzate tre tipologie di template già predisposte in Design Builder:

- Single glazing, clear, no shading per gli appartamenti della CLASSE 1 e della CLASSE 5;
- Double glazing, absorptive, no shading per gli appartamenti della CLASSE 6;
- Double glazing, reflective, clear, no shading per gli appartamenti della CLASSE 7.

La Figura 69 e la Figura 70 riportano i parametri caratteristici di tali superfici.

Single glazing, clear, no shading		Double glazing, absorptive, no shading	
Vetrata	Sgl Clr 6mm	Vetrata	DbI Grey 6mm/6mm Air
Fattore solare (FS)	0,819	Fattore solare (FS)	0,485
Trasmissione solare diretta	0,775	Trasmissione solare diretta	0,354
Trasmissione luminosa (TL)	0,881	Trasmissione luminosa (TL)	0,381
Valore - U (ISO 10292/ EN 673) (W/mq-K)	5,718	Valore - U (ISO 10292/ EN 673) (W/mq-K)	3,239
<b>Valore-U (ISO 15099 / NFRC) (W/mq-K)</b>	<b>5,778</b>	<b>Valore-U (ISO 15099 / NFRC) (W/mq-K)</b>	<b>3,094</b>
Struttura telaio	Painted Wooden window frame	Struttura telaio	Painted Wooden window frame
Spessore (m)	0,0200	Spessore (m)	0,0200
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	16,7300	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	16,7300
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,275	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,275
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,275	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,275
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	9,500	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	9,500
Valore-R (mq-K/W)	0,275	Valore-R (mq-K/W)	0,275
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>3,633</b>	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>3,633</b>
% area di apertura della vetrata	5	% area di apertura della vetrata	5

(a)

(b)

Figura 69. Parametri immessi per le superfici vetrate per la Classe 1 (a) e la Classe 5(c).

Double glazing, absorptive, no shading		Double glazing, reflective, clear, no shading	
Vetrata		Vetrata	
Dbl Grey 6mm/6mm Air		Dbl Ref-A-L Tint 6mm/13mm Arg	
Fattore solare (FS)	0,485	Fattore solare (FS)	0,136
Trasmissione solare diretta	0,354	Trasmissione solare diretta	0,03218
Trasmissione luminosa (TL)	0,381	Trasmissione luminosa (TL)	0,04555
Valore - U (ISO 10292/ EN 673) (W/mq-K)	3,239	Valore - U (ISO 10292/ EN 673) (W/mq-K)	2,044
<b>Valore-U (ISO 15099 / NFRC) (W/mq-K)</b>	<b>3,094</b>	<b>Valore-U (ISO 15099 / NFRC) (W/mq-K)</b>	<b>2,028</b>
Struttura telaio		Struttura telaio	
Painted Wooden window frame		Painted Wooden window frame	
Spessore (m)	0,0200	Spessore (m)	0,0200
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	16,7300	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	16,7300
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,275	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	0,275
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,275	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	0,275
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	9,500	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	9,500
Valore-R (mq-K/W)	0,275	Valore-R (mq-K/W)	0,275
<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>3,633</b>	<b>Valore-U (W/mq-K)</b>	<b>3,633</b>
% area di apertura della vetrata	5	% area di apertura della vetrata	5

Figura 70. Parametri immessi per le superfici vetrate per la Classe 6 (a) e Classe 7 (b).

### Dimensioni degli appartamenti tipo analizzati

Gli appartamenti che sono stati modellati in questo studio sono stati scelti con tre diversi valori di superficie calpestabile:

1. **Piccolo**, con una superficie calpestabile di 60 m<sup>2</sup>, composto da una cucina, un bagno, una camera ed un soggiorno;
2. **Medio**, con una superficie calpestabile di 80 m<sup>2</sup>, composto dalle stesse stanze del caso precedente;
3. **Grande**, con superficie calpestabile di 100 m<sup>2</sup>, caratterizzato da un'ulteriore camera oltre le stanze presenti nei casi precedenti.

Questa scelta è stata fatta in quanto queste tre tipologie di appartamento coprono quasi per la totalità il parco edilizio residenziale considerato [14]. Occorre notare che nella modellazione non sono stati considerati i corridoi per semplicità.

Per quanto concerne le restanti dimensioni, si è ipotizzata una modellazione molto semplificata per mantenere generalità della trattazione. In particolare, ai fini del dimensionamento delle altezze dei locali e della superficie per le aperture vetrate si è fatto riferimento alla normativa italiana di riferimento [15] che fissa i valori minimi per questi parametri. L'altezza di tutti i locali è stata fissata quindi convenzionalmente a 3m per tutti gli appartamenti e le superfici finestrate sono state poste per ciascuna zona ad un valore pari ad 1/8 della superficie del rispettivo pavimento. Le porte d'ingresso, che incidono sullo scambio termico con l'esterno, sono state considerate di dimensione commerciali standard pari a 2,1m di altezza e 0,9m di larghezza. I tetti sono stati tutti modellati con falda inclinata di 30°.

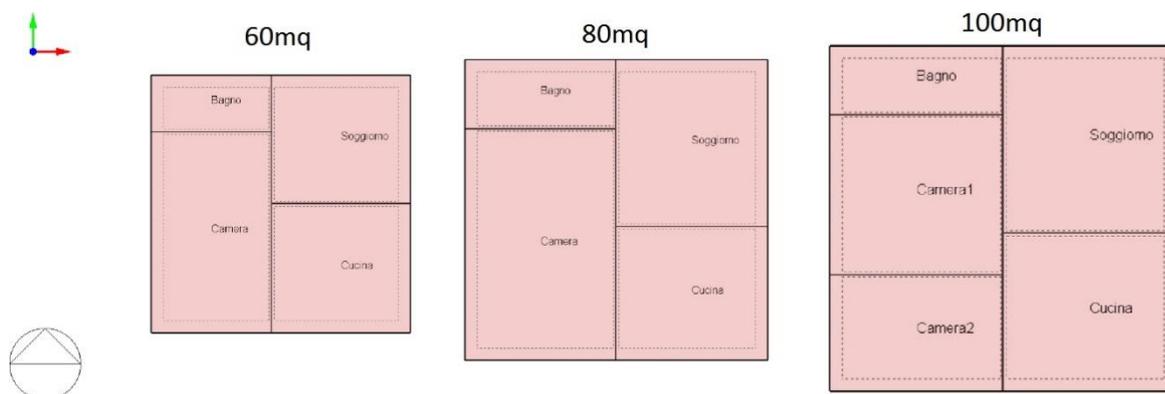
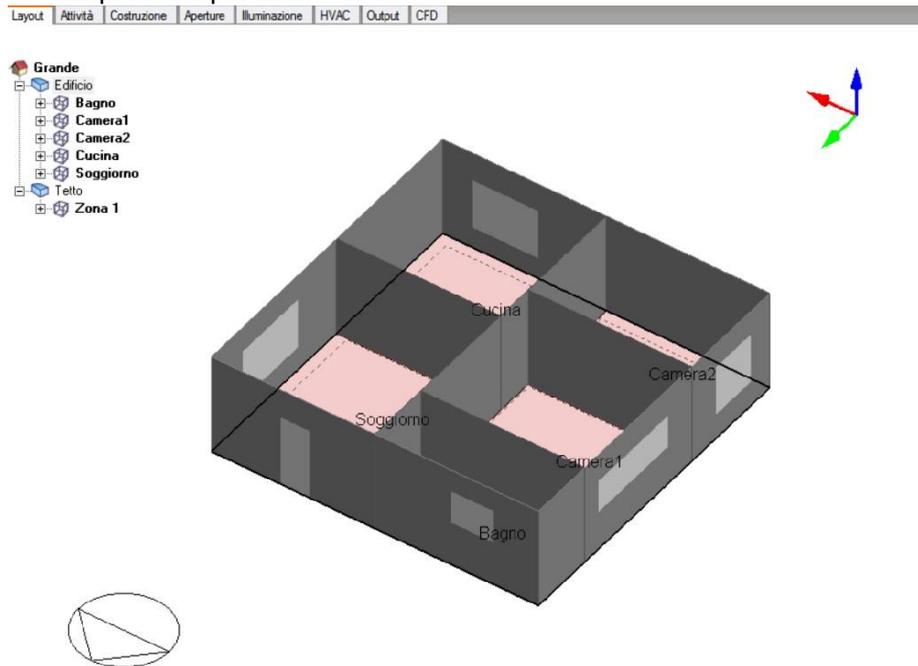


Figura 71. Piante degli edifici tipo disegnate in Design Builder. A ciascuna parete e sezione è possibile associare un template materiali per definirne i parametri dei materiali costituenti.

Stabiliti i dettagli geometrici degli edifici tipo, tutte le informazioni sono state inserite in Design Builder. Il cad integrato nel software permette di modellare rapidamente le geometrie, come mostrato in Figura 71 e Figura 72. Comandi dedicati permettono di disegnare ed inserire rapidamente pareti, finestre, tramezzi, etc.

Ad ogni sezione dell'edificio è possibile associare un template (precedentemente editati e presenti nel database) per determinarne la stratigrafia e i materiali costitutivi. Il cad integrato, nel momento del disegno dei tramezzi, crea automaticamente le zone termiche da simulare. La Figura mostra con diverso colore le superfici trasparenti. Come è possibile notare dalla Figura 72, per ciascuna zona termica è stata considerata una sola finestra di dimensioni tali da soddisfare la normativa sull'illuminazione indoor. La temperatura del basamento a contatto con il pavimento è stata fissata al valore di default design Builder e pari a 15°C. Questo valore così come la presenza del tetto può portare ad errori, comunque accettabili, nel caso in cui si modelli più appartamenti in condominio o palazzo ove gli appartamenti dei piani superiori vedono generalmente una temperatura più alta.



**Figura 72. Modello dell'edificio di 100m<sup>2</sup> a 5 zone termiche in Desing Builder.**

Anche per il semplice modello in Figura 72 il proprio file descrittivo idf è caratterizzato da un numero molto elevato di campi. È evidente quindi come il software Design Builder comporti una velocizzazione dell'intero processo di modellazione permettendo anche di evitare errori e di effettuare rapidamente correzioni.

### **Tipologie di impianto termico e profili utente**

Gli impianti di riscaldamento e di raffrescamento considerati sono stati scelti fra le tipologie maggiormente diffuse sul territorio nazionale. Sono state considerate inoltre soluzioni impiantistiche a maggiore efficienza energetica, in particolare sistemi a pompa di calore. Gli impianti sono stati modellati in Design builder con i parametri principali di funzionamento (caratterizzazione ideale) senza entrare nei dettagli dei componenti specifici dell'impianto per mantenere carattere di generalità. In particolare è stato inserito il tipo di combustibile e l'efficienza globale del sistema ai fini della quantificazione delle perdite complessive di energia termica del sistema considerato. Le configurazioni di impianto prese in considerazione sono:

1. Impianto di riscaldamento composto da caldaia e radiatori tradizionali. Il rendimento medio dell'impianto è stato posto pari a 0,88 facendo riferimento al decreto legislativo 149 del 27 Giugno 2013 [16].
2. Impianto di riscaldamento composto da caldaia e radiatori tradizionali come nel caso 1 insieme ad un Impianto di raffrescamento estivo composto da un sistema a split. Per il sistema di condizionamento è stato scelto un valore di EER pari a 3,3.

3. Impianto di climatizzazione a pompa di calore inverter. Per la pompa di calore si è scelto un COP (riscaldamento) di 3 ed un EER (raffrescamento) di 2,6. Questi valori sono stati scelti facendo riferimento alla normativa EN 14511:2011.

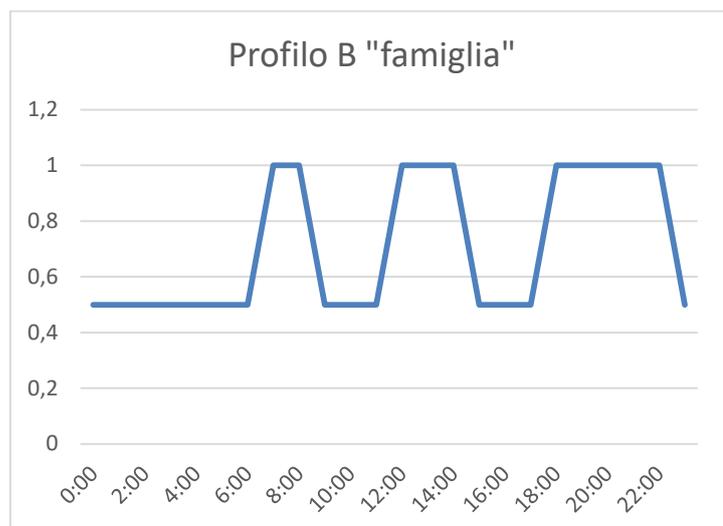
I profili di utilizzo degli impianti termici sono stati differenziati a seconda delle principali categorie di occupante. Il simulatore sviluppato parte dal presupposto che il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento/raffrescamento sia in qualche modo indicativo anche della presenza dell'utente dentro l'appartamento. Per questo motivo, nel simulatore sono stati inseriti tre tipologie di profilo, rappresentative di diversi profili di presenza all'interno dell'appartamento:

1. Profilo A "domestico": abitazione sempre occupata durante il giorno (casalinga, persona anziana, baby-sitter con bambini e simili.);



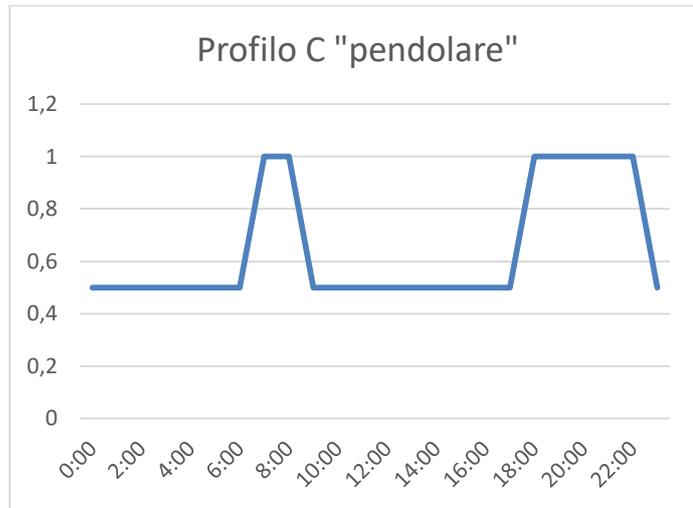
**Figura 73. Profilo di utilizzo degli impianti A "domestico". Accensione 7:00-21:00; Attenuazione nelle restanti ore.**

2. Profilo B "famiglia": abitazione occupata da persone che uscite la mattina, rientrano per la pausa pranzo, escono di nuovo il primo pomeriggio per rientrare a casa prima del tardo pomeriggio (lavoratore con rientro pomeridiano, famiglia con figli studenti);



**Figura 74. Profilo di utilizzo degli impianti B "famiglia". Accensione 7:00-8:00; 12:00-14:00; 18:00-22:00; Attenuazione nelle restanti ore.**

3. Profilo C “pendolare”: abitazione occupata da persone che uscite la mattina non rientrano a casa prima del tardo pomeriggio (pendolari, famiglia con adulti che lavorano e figli a scuola a tempo pieno).

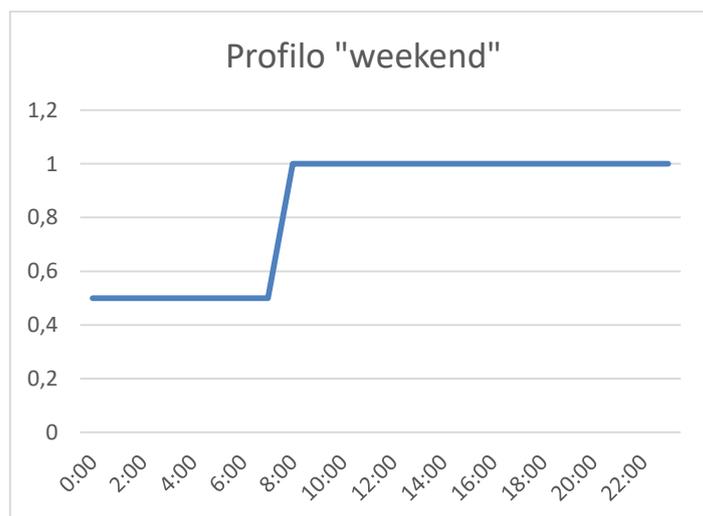


**Figura 75. Profilo di utilizzo degli impianti C “pendolare”. Accensione 7:00-8:00; 18:00-22:00; Attenuazione nelle restanti ore.**

La Figura 73, Figura 74 e Figura 75 mostrano graficamente i tre profili considerati. È importante sottolineare che:

- I grafici indicano gli orari di accensione e non la reale presenza degli utenti in casa;
- I profili di accensione/spengimento dell’impianto non danno informazioni sui livelli di temperatura, ma rappresentano tre condizioni di funzionamento: 1 impianto acceso; 0,5 impianto in attenuazione; 0 impianto spento.

Per tutti e tre i profili è stato considerato per il weekend il profilo “weekend” caratterizzato da accensione costante degli impianti (Figura 76).



**Figura 76. Profilo di utilizzo degli impianti “weekend”. Accensione 7:00-22:00. Attenuazione nelle restanti ore.**

I parametri degli impianti di riscaldamento e raffrescamento considerati sono stati inseriti in Design Builder mediante il template HVAC. Questa tipologia di template è composta da quattro schede principali:

- Generale: Informazioni generali sugli impianti HVAC;
- Ventilazione: Caratterizzazione della ventilazione naturale e meccanica;

- Riscaldamento e raffrescamento: Parametri di rendimento, tipologia di energia primaria e dettagli sugli impianti.
- Distribuzione della temperatura dell'aria: metodo di distribuzione dell'aria adottato.

Per il template HVAC è stata utilizzata l'impostazione definita "semplice" in Design Builder. Questa impostazione permette di definire le caratteristiche degli impianti in modo idealizzato impostando un numero limitato di parametri. In particolare per l'impianto di riscaldamento e di raffrescamento sono riportati il tipo di combustibile ed i parametri di efficienza complessivi dell'impianto. La ventilazione naturale estiva è stata considerata come presente solo nel caso di presenza della sola caldaia e radiatori, data la mancanza dell'impianto di raffrescamento. La ventilazione naturale estiva ha permesso di simulare l'apertura dei serramenti quando la temperatura interna supera i 24°C. Il numero di ricambi di aria per la ventilazione naturale è stato fissato convenzionalmente a 0,5vol/h. Le tre tipologie di impianto sopra elencate sono state definite in template di pari numero che sono riportati nelle figure da Figura 77 a Figura 79 seguenti.

Generale	
<b>Nome</b>	Configurazione impiantistica caratterizzata da un impianto di riscaldamento con caldaia tradizionale e radiatori
Descrizione	
Fonte	
Categoria	Progetto
Regione	General
Ventilazione naturale	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Tasso (vol/h)	0,50
<input type="checkbox"/> Modalità Mista On	
Ventilazione meccanica	
<input type="checkbox"/> On	
Riscaldamento	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Semplice Unità HVAC e Combustibile Unitario	2-Gas naturale
Preriscaldamento (hr)	1,0
Semplice	
CoP del sistema di riscaldamento	0,88
Tipo di sistema di riscaldamento	1-Convettivo
Condizione aria immessa	
Temperatura massima aria immessa (°C)	35,00
Tasso massimo di umidità aria immessa (g/g)	0,009
Raffrescamento	
<input type="checkbox"/> Raffrescamento On	
Distribuzione Temperatura Aria	
Metodo di distribuzione	1-Misto

**Figura 77. Template per l'impianto con caldaia tradizionale e radiatori.**

Generale	
<b>Nome</b>	<b>Configurazione impiantistica costituita da un impianto di riscaldamento con caldaia tradizionale e radiatori e da un</b>
Descrizione	
Fonte	
Categoria	Progetto
Regione	General
Ventilazione naturale	
<input type="checkbox"/> On	
Ventilazione meccanica	
<input type="checkbox"/> On	
Riscaldamento	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Semplice Unità HVAC e Combustibile Unitario	2-Gas naturale
Preriscaldamento (hr)	1,0
Semplice	
CoP del sistema di riscaldamento	0,88
Tipo di sistema di riscaldamento	1-Convettivo
Condizione aria immessa	
Temperatura massima aria immessa (°C)	35,00
Tasso massimo di umidità aria immessa (g/g)	0,009
Raffrescamento	
<input checked="" type="checkbox"/> Raffrescamento On	
Preraffrescamento (hr)	1,0
Semplice	
CoP del sistema di raffrescamento	3,30
Condizione aria immessa	
Temperatura minima aria immessa (°C)	14,00
Tasso minimo di umidità aria immessa (g/g)	0,009
Distribuzione Temperatura Aria	
Metodo di distribuzione	1-Misto

Figura 78. Template per l'impianto con caldaia tradizionale e radiatori per il riscaldamento e condizionatore a split per il raffrescamento.

Generale	
<b>Nome</b>	<b>Configurazione impiantistica composta da impianto di climatizzazione costituito da una pompa di calore inverter co</b>
Descrizione	
Fonte	
Categoria	Progetto
Regione	General
Ventilazione naturale	
<input type="checkbox"/> On	
Ventilazione meccanica	
<input type="checkbox"/> On	
Riscaldamento	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Semplice Unità HVAC e Combustibile Unitario	1-Elettricità dalla rete
Preriscaldamento (hr)	1,0
Semplice	
CoP del sistema di riscaldamento	3,00
Tipo di sistema di riscaldamento	1-Convettivo
Condizione aria immessa	
Temperatura massima aria immessa (°C)	35,00
Tasso massimo di umidità aria immessa (g/g)	0,009
Raffrescamento	
<input checked="" type="checkbox"/> Raffrescamento On	
Preraffrescamento (hr)	1,0
Semplice	
CoP del sistema di raffrescamento	2,60
Condizione aria immessa	
Temperatura minima aria immessa (°C)	14,00
Tasso minimo di umidità aria immessa (g/g)	0,009
Distribuzione Temperatura Aria	
Metodo di distribuzione	1-Misto

Figura 79. Template per l'impianto con pompa di calore inverter e ventilconvettori per riscaldamento e raffrescamento.

Per la definizione in Design Builder dei Profili di utilizzo degli impianti è stata impiegata la tipologia descrittiva definita "compatta". Questa descrizione permette di definire in maniera rapida i profili di utilizzo degli impianti ed i profili della ventilazione naturale nei diversi periodi dell'anno. Le Figure da Figura 80 a Figura 82 seguenti mostrano le definizioni dei diversi profili in Design Builder.

Premesso che i periodi di accensione e spegnimento degli impianti sono definibili dall'utente, le simulazioni sono state effettuate considerando i seguenti periodi:

- Riscaldamento: dal 15 Ottobre al 15 Aprile (in genere il periodo di accensione degli impianti è stabilito a seconda delle zone climatiche) [16].
- Raffrescamento: non esistendo una normativa specifica è stato impostato un periodo di accensione dal 1 Giugno fino al 15 Settembre.

È stato inoltre inserito un periodo di vacanza estivo di due settimane fissato tra il 7 e il 21 di Agosto durante il quale l'eventuale impianto di condizionamento è supposto spento.

Profilo domicilio_Riscaldamento	Profilo famiglia_Riscaldamento	Profilo pendolare_Riscaldamento
Schedule: Compact,	Schedule: Compact,	Schedule: Compact,
Riscaldamento_Domicilio,	Riscaldamento_Famiglia,	Riscaldamento_Pendolare,
Temperature,	Temperature,	Temperature,
Through: 15 Apr,	Through: 15 Apr,	Through: 15 Apr,
For: Weekdays,	For: Weekdays,	For: Weekdays,
Until: 06:00, 0.5,	Until: 06:00, 0.5,	Until: 06:00, 0.5,
Until: 22:00, 1,	Until: 08:00, 1,	Until: 08:00, 1,
Until: 24:00, 0.5,	Until: 11:00, 0.5,	Until: 17:00, 0.5,
For: Weekends,	Until: 14:00, 1,	Until: 22:00, 1,
Until: 07:00, 0.5,	Until: 17:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.5,
Until: 23:00, 1,	Until: 22:00, 1,	For: Weekends,
Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.5,	Until: 07:00, 0.5,
For: Holidays,	For: Weekends,	Until: 23:00, 1,
Until: 07:00, 0.5,	Until: 07:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.5,
Until: 23:00, 1,	Until: 23:00, 1,	For: Holidays,
Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.5,	Until: 07:00, 0.5,
For: AllOtherDays,	For: Holidays,	Until: 23:00, 1,
Until: 24:00, 0,	Until: 07:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.5,
Through: 14 Oct,	Until: 23:00, 1,	For: AllOtherDays,
For: AllDays,	Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0,
Until: 24:00, 0,	For: AllOtherDays,	Through: 14 Oct,
Through: 31 Dec,	Until: 24:00, 0,	For: AllDays,
For: Weekdays,	Through: 14 Oct,	Until: 24:00, 0,
Until: 06:00, 0.5,	For: AllDays,	Through: 31 Dec,
Until: 22:00, 1,	Until: 24:00, 0,	For: Weekdays,
Until: 24:00, 0.5,	Through: 31 Dec,	Until: 06:00, 0.5,
For: Weekends,	For: Weekdays,	Until: 08:00, 1,
Until: 07:00, 0.5,	Until: 06:00, 0.5,	Until: 17:00, 0.5,
Until: 23:00, 1,	Until: 08:00, 1,	Until: 22:00, 1,
Until: 24:00, 0.5,	Until: 11:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.5,
For: Holidays,	Until: 14:00, 1,	For: Weekends,
Until: 07:00, 0.5,	Until: 17:00, 0.5,	Until: 07:00, 0.5,
Until: 23:00, 1,	Until: 22:00, 1,	Until: 23:00, 1,
Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.5,
For: AllOtherDays,	For: Weekends,	For: Holidays,
Until: 24:00, 0;	Until: 07:00, 0.5,	Until: 07:00, 0.5,
	Until: 23:00, 1,	Until: 23:00, 1,
	Until: 24:00, 0.5,	Until: 24:00, 0.5,
	For: Holidays,	For: AllOtherDays,
	Until: 07:00, 0.5,	Until: 24:00, 0;
	Until: 23:00, 1,	
	Until: 24:00, 0.5,	
	For: AllOtherDays,	
	Until: 24:00, 0;	

Figura 80. Profili di funzionamento dell'impianto di riscaldamento.

Profilo domicilio_Raffrescamento	Profilo famiglia_Raffrescamento	Profilo pendolare_Raffrescamento
Schedule:Compact, Raffrescamento_Domicilio, Temperature, Through: 31 May, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through: 7 Aug, For: Weekdays, Until: 06:00, 0.5, Until: 08:00, 1, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Weekends, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Holidays, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 21 Aug, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through: 15 Sep, For: Weekdays, Until: 06:00, 0.5, Until: 08:00, 1, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Weekends, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Holidays, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 31 Dec,	Schedule:Compact, Raffrescamento_Famiglia, Temperature, Through: 31 May, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through: 7 Aug, For: Weekdays, Until: 06:00, 0.5, Until: 08:00, 1, Until: 11:00, 0.5, Until: 14:00, 1, Until: 17:00, 0.5, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Weekends, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Holidays, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: AllOtherDays, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, Through: 21 Aug, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through: 15 Sep, For: Weekdays, Until: 06:00, 0.5, Until: 08:00, 1, Until: 11:00, 0.5, Until: 14:00, 1, Until: 17:00, 0.5, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Weekends, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Holidays, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 24:00, 0;	Schedule:Compact, Raffrescamento_Pendolare, Temperature, Through: 31 May, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through: 7 Aug, For: Weekdays, Until: 06:00, 0.5, Until: 08:00, 1, Until: 17:00, 0.5, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Weekends, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Holidays, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 21 Aug, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through: 15 Sep, For: Weekdays, Until: 06:00, 0.5, Until: 08:00, 1, Until: 17:00, 0.5, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Weekends, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: Holidays, Until: 07:00, 0.5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0.5, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 24:00, 0;

Figura 81. Profili di funzionamento dell'impianto di raffrescamento.

I programmi per la definizione della ventilazione naturale sono stati modellati utilizzando gli stessi orari di accensione degli impianti di raffrescamento e sono stati definiti utilizzando la modalità “fraction”. Questa modalità permette di inserire nelle diverse fasce orarie i valori decimali compresi tra 0 e 1 per modulare la ventilazione naturale. Per gli scopi del presente studio sono stati considerati solamente i valori 0 e 1. Il valore 0 per indicare assenza di ventilazione naturale, e il valore 1 per rappresentarne la presenza. La figura riporta la scheda con i profili della ventilazione naturale impostata nel software.

Profilo domicilio_Ventilazione nat.	Profilo famiglia_Ventilazione nat.	Profilo pendolare_Ventilazione nat.
Schedule:Compact, Ventilazione_Nat_Domicilio, Fraction, Through: 31 May, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through: 7 Aug, For: Weekdays, Until: 07:00, 0, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Weekends, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 21 Aug, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through:15 Sep, For: Weekdays, Until: 07:00, 0, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Weekends, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 24:00, 0;	Schedule:Compact, Ventilazione_Nat_Domicilio, Fraction, Through: 31 May, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through: 7 Aug, For: Weekdays, Until: 07:00, 0, Until: 08:00, 1, Until: 11:00, 0, Until: 14:00, 1, Until: 17:00, 0, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Weekends, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 07:00, 0,5, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 21 Aug, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through: 15 Sep, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through:15 Sep, For: Weekdays, Until: 07:00, 0, Until: 08:00, 1, Until: 11:00, 0, Until: 14:00, 1, Until: 17:00, 0, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Weekends, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 24:00, 0;	Schedule:Compact, Ventilazione_Nat_Domicilio, Fraction, Through: 31 May, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through:7 Aug, For: Weekdays, Until: 07:00, 0, Until: 08:00, 1, Until: 17:00, 0, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Weekends, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 21 Aug, For: AllDays, Until: 24:00, 0, Through:15 Sep, For: Weekdays, Until: 07:00, 0, Until: 08:00, 1, Until: 17:00, 0, Until: 22:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Weekends, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: Holidays, Until: 07:00, 0, Until: 23:00, 1, Until: 24:00, 0, For: AllOtherDays, Until: 24:00, 0, Through: 31 Dec, For: AllDays, Until: 24:00, 0;

Figura 82. Profili per la ventilazione naturale.

### Set-point di temperatura

Nel modello è possibile introdurre il set-point di temperatura all'interno di ciascun zona climatica modellata. In particolare vengono definiti due livelli di temperatura:

- Temperatura di set-point: è il valore impostato dall'utente (termostato) in ciascun ambiente ed è il valore di riferimento per l'eventuale attuazione nell'ambiente stesso (valvole termoregolatrici, caldaia...).
- Temperatura di attenuazione: è il valore di temperatura limite al di sotto (impianto di riscaldamento) o al di sopra (impianto di condizionamento) del quale l'impianto HVAC si accende comunque.

I valori di riferimento impostati nelle simulazioni per gli use case sono:

- temperatura di setpoint invernale: 20°C
- temperatura di attenuazione invernale: 16°C;
- temperatura di setpoint estiva: 24°C;
- temperatura di attenuazione estiva: 28°C

Nella seconda fase dell'attività di questa annualità sono stati analizzati anche differenti scenari di monitoraggio: per questa particolare attività sono stati definiti 4 casi di riferimento con differenti set-point di temperatura (paragrafo 1.3) rappresentativi di altrettanti casi di gestione "termica" degli appartamenti (Tabella 5):

- senza termostato;
- con termostato in una stanza;
- con valvole termoregolatrici in ogni stanza;
- con valvole termoregolatrici in ogni stanza ma con temperature di set-point più conservative.

**Tabella 5. Set-point individuati e loro funzione**

Set-point	Funzione del set-point
Inverno: 22.5°C in tutte le stanze senza attenuazione. Estate: 23.0°C in tutte le stanze senza attenuazione	per simulare l'assenza di termostato o smart valve ed accensione costante manuale.
Inverno: 20°C in tutte le stanze con 16°C di attenuazione; Estate: 24°C in tutte le stanze con 28°C di attenuazione;	Smart valve in tutte le stanze. Impostazione standard.
Inverno: 18°C in tutte le stanze con 16°C di attenuazione; Estate: 26°C in tutte le stanze con 28°C di attenuazione;	Smart valve in tutte le stanze. Impostazione conservativa.
Inverno Bagno e Soggiorno: 20°C con attenuazione 16°C; Estate Bagno e Soggiorno: 24°C con attenuazione 28°C; Inverno Camera e Cucina: 18°C con attenuazione 16°C; Estate Camera e Cucina: 26°C con attenuazione 28°C;	Smart valve Con set-point diversi per stanza

Nel paragrafo 1.3 verranno forniti tutti i dettagli delle simulazioni dei differenti scenari di monitoraggio.

### 1.2.2 Aggregazione della domanda di energia a livello di rete di edifici residenziale

Nei paragrafi precedenti è stata descritta la metodologia per la generazione di profili casuali di domanda di energia termica ed elettrica di un appartamento o di più appartamenti separati.

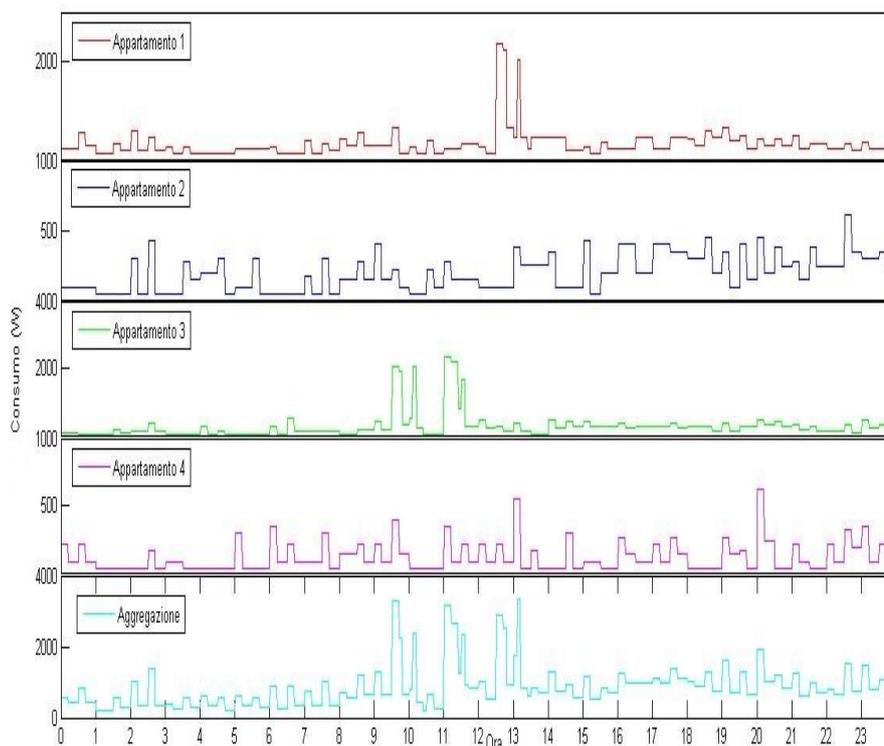
In questa sezione viene presentata la metodologia utilizzata per l'aggregazione di tali profili in modo da ottenere curve aggregate di domanda di energia elettrica e termica. Infatti, per ottenere una curva verosimile di domanda aggregata di un distretto, sia esso quartiere o gruppo di utenti, non è sufficiente prendere casualmente delle curve di use case già modellati e ripeterle o sommarle "n" volte. Una curva aggregata di domanda parte dagli use case definiti e li aggrega secondo dati, in genere provenienti da statistiche, definiti dall'operatore del software di modellazione.

Per l'aggregazione della domanda di energia elettrica e termica sono stati utilizzati due approcci differenti. La simulazione della domanda aggregata di energia elettrica è contestuale alla generazione di profili di carico degli appartamenti. Infatti, il simulatore di domanda di energia elettrica prevede, come input, il numero "n" di appartamenti da simulare; su questa platea, genera la distribuzione del numero di elettrodomestici, di orari di accensione e di periodo di vacanza in funzione delle statistiche inserite; se si vuole vedere il profilo di un appartamento, si va a prendere il vettore n-esimo tra le "n" curve generate statisticamente.

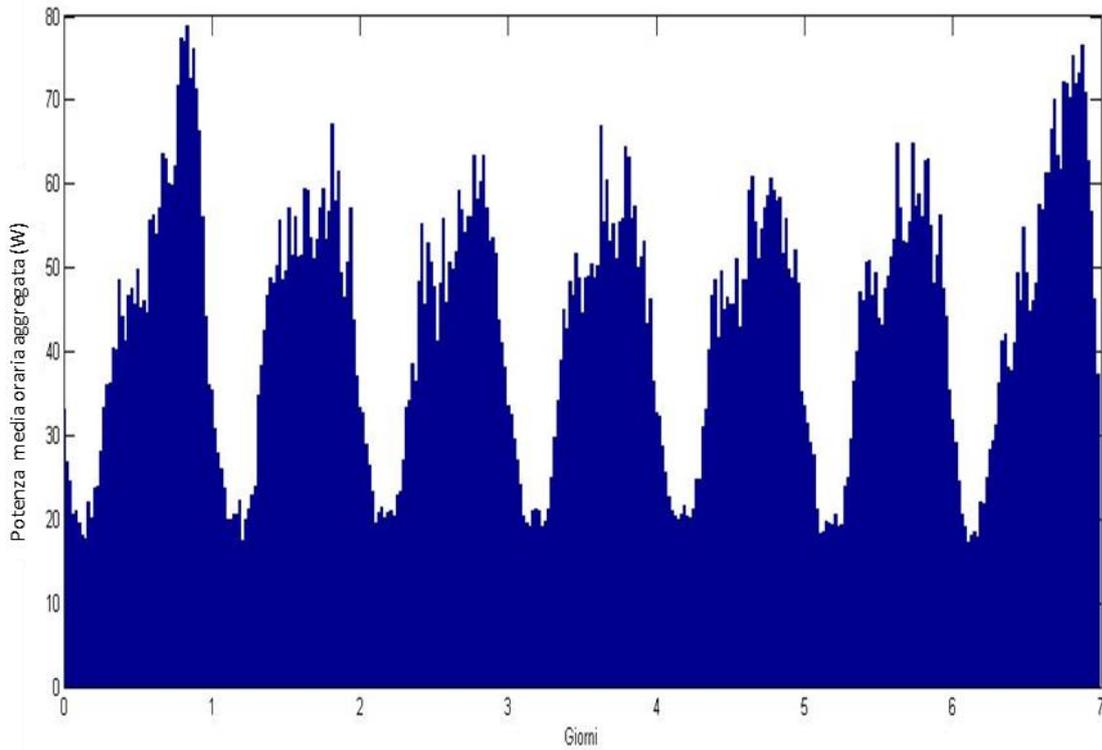
La simulazione della domanda aggregata di energia termica è avvenuta in maniera differente; questa è stata costruita a partire dalle simulazioni degli use case scelti in una combinazione tale da rispettare le statistiche reali degli edifici (in particolare località climatica, anno di costruzione, tipologia di impianto).

#### Aggregazione della domanda di energia elettrica

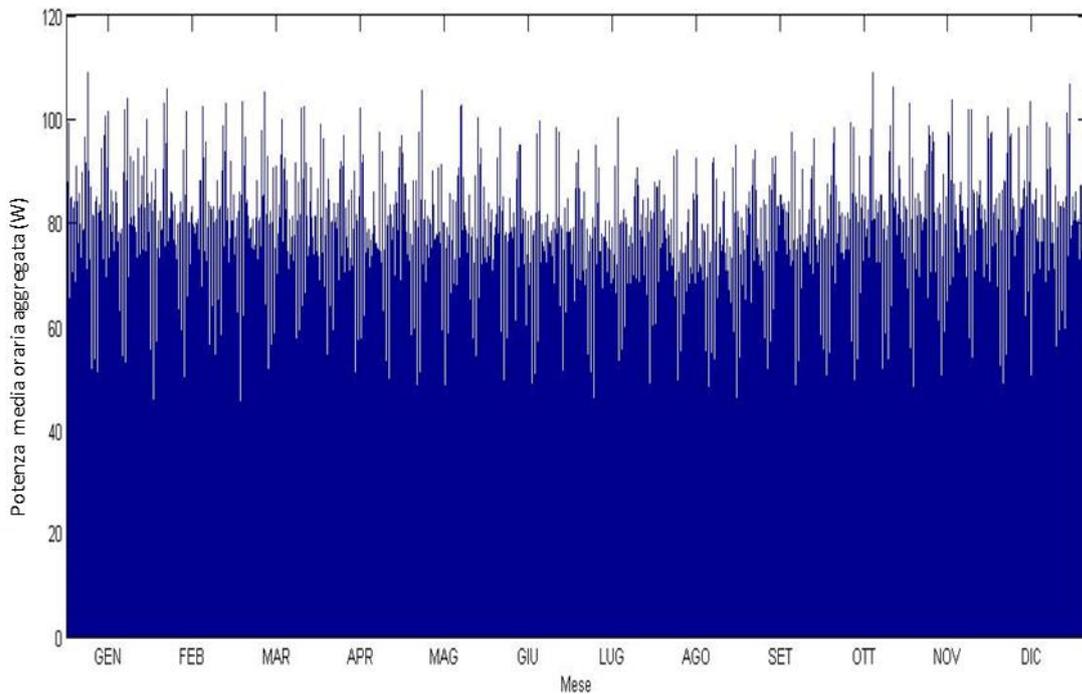
Nel paragrafo 1.2 è stata già descritta la metodologia per l'aggregazione. Di seguito vengono riportati i risultati dell'aggregazione di un gruppo di 200 appartamenti. L'intervallo di tempo con cui è stata svolta la simulazione è pari a 2 anni, che risulta essere un tempo sufficiente per dare una rilevanza statistica alle informazioni deducibili. Sempre nel paragrafo 1.2 sono stati mostrati i risultati derivanti dal raggruppamento dei profili di carico generati dai singoli elettrodomestici per ognuna delle unità abitative. Di seguito vengono mostrati i risultati dell'aggregazione. La Figura 83 mostra l'esempio di aggregazione del profilo elettrico di 4 appartamenti, rappresentativi di un piccolo condominio o di un insediamento quadrifamigliare. Le Figura 84 e Figura 85 mostrano la simulazione del profilo aggregato di 200 appartamenti rispettivamente per una settimana e per un anno.



**Figura 83. – Profili elettrici dei 4 appartamenti relativi ad una giornata e loro aggregazione**



**Figura 84. – Profilo elettrico aggregato di un distretto di 200 appartamenti relativo ad una settimana**



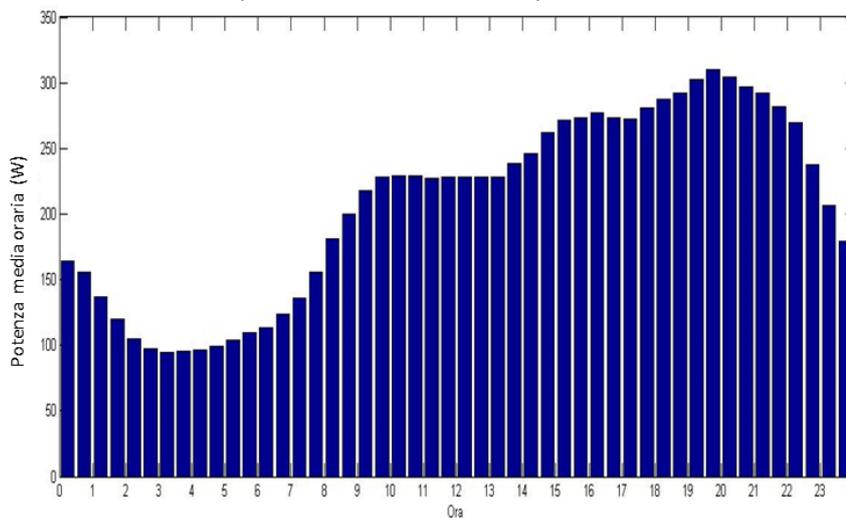
**Figura 85. – Profilo elettrico aggregato di un distretto di 200 appartamenti nell'arco di 1 anno**

In particolare, nella Figura 84 risulta evidente il riconoscimento dei periodi della giornata con maggior consumo (picchi di domanda) ed i consumi notturni. È interessante osservare come l'aggregazione realizzi un effetto di media producendo un profilo elettrico aggregato che coincide qualitativamente con le statistiche.

Nella Figura 85 si può notare l'abbassamento del consumo aggregato nei mesi estivi per l'effetto combinato sia della simulazione dei periodi di vacanza (il 50% in estate, secondo le statistiche utilizzate) sia del minor consumo dovuto all'illuminazione interna. Occorre sottolineare che, queste simulazioni non tengono in considerazione i consumi elettrici dovuti alla climatizzazione ambiente (climatizzatori e pompe di calore). Il Consumo annuale del distretto corrisponde a 364.618 MWh. Questi dati risulteranno molto utili per la progettazione del supervisore che necessiterà di informazioni a più livelli per effettuare il suo lavoro.

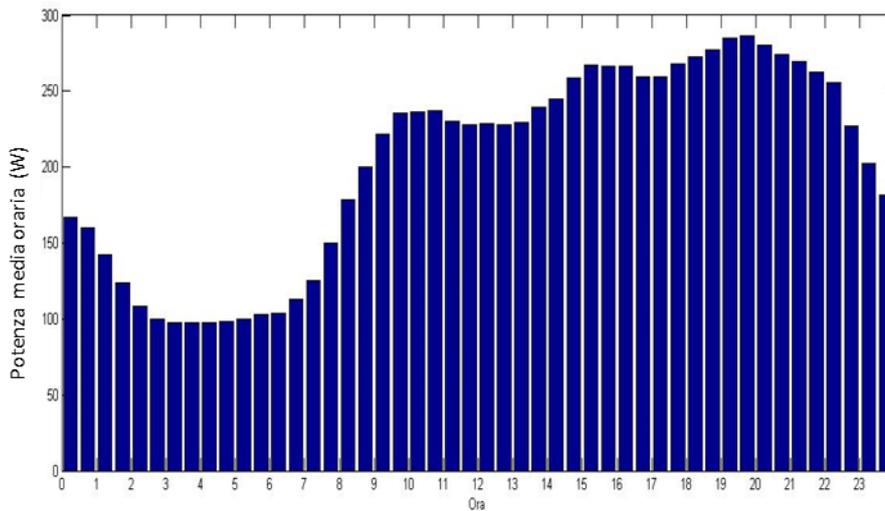
#### Consumi medi e KPI

Il simulatore di consumi elettrici aggregati è anche utile per definire potenziali KPI nel distretto e per definire anche scenari di benchmark tra appartamenti che potrebbero essere utili in futuro per la definizione/valutazione di politiche sia di feed-back verso l'utente che di demand-response. Inoltre, la simulazione di consumi aggregati verosimili può essere utile per lo studio di sistemi di generazione distribuita (fotovoltaico e CHP), per un loro dimensionamento di massima e per la valutazione di potenziali benefici in termini di flessibilità, sempre in ottica demand-response.

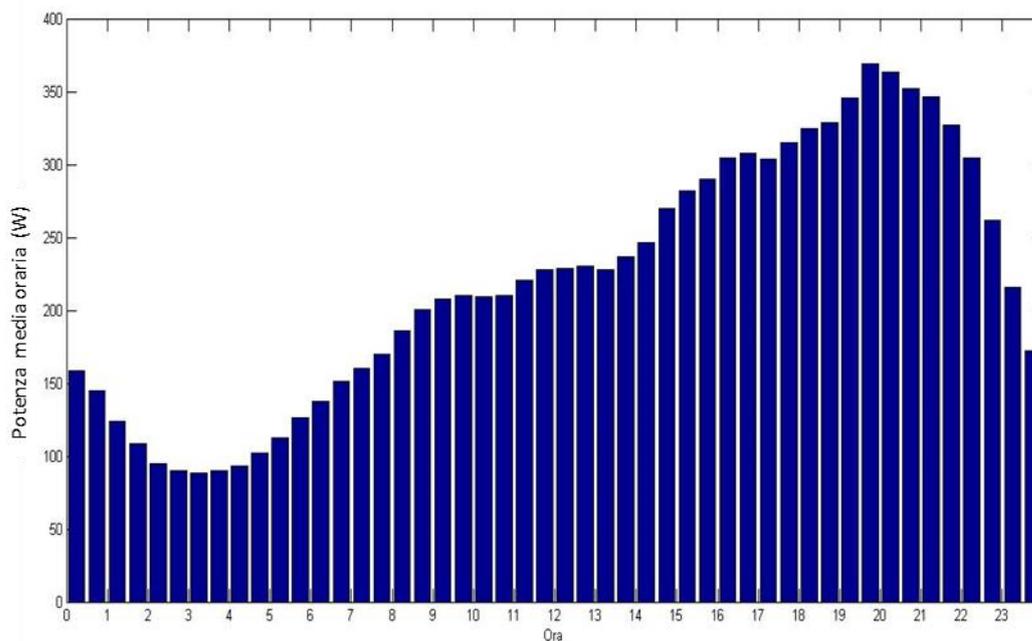


**Figura 86. – Andamento del consumo orario medio, ottenuto come media giornaliera su 2 anni e su 200 appartamenti**

La Figura 86 mostra la statistica sull'andamento del consumo giornaliero medio orario nell'arco del distretto simulato. La curva risulta, secondo previsione, estremamente simile con quello delle indagini statistiche raccolte. L'analisi delle Figura 87 e Figura 88 giustifica la scelta di distinguere all'interno del simulatore tra i comportamenti durante i giorni feriali e festivi.

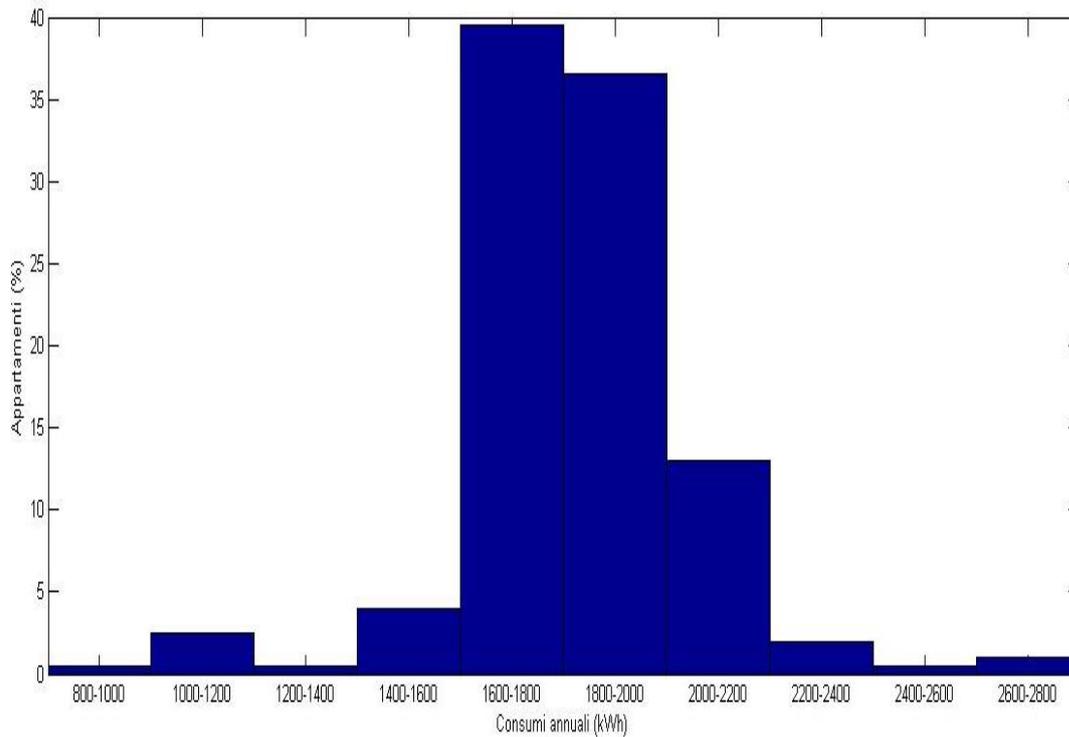


**Figura 87. – Andamento del consumo orario medio relativo ai soli giorni feriali, ottenuto come media giornaliera su 2 anni e su 200 appartamenti**



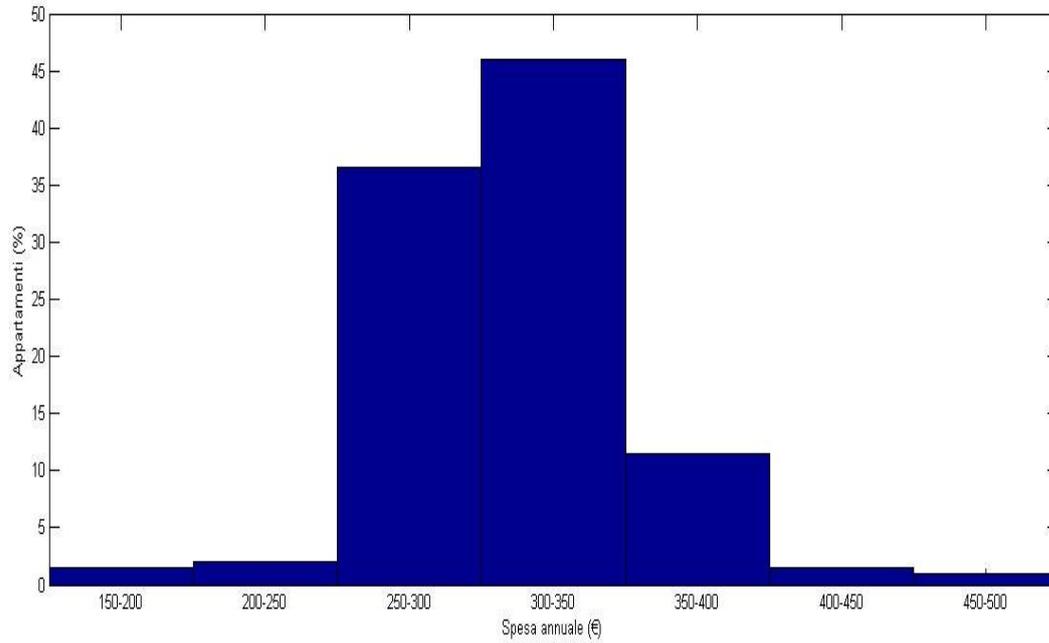
**Figura 88. – Andamento del consumo orario medio relativo ai soli giorni festivi, ottenuto come media giornaliera su 2 anni e su 200 appartamenti**

Attraverso il simulatore è possibile anche estrapolare la distribuzione dei consumi elettrici annuali (scaglioni di consumo) all'interno della platea di utenze simulate. La Figura 88 mostra la distribuzione percentuale dei consumi elettrici annuali in diversi scaglioni di consumo: la distribuzione mostra come il simulatore tenga conto di varie tipologie di appartamenti energivori.



**Figura 89. – Distribuzione dei consumi elettrici annuali per un gruppo di 200 appartamenti**

La media risultante dei consumi elettrici annuali è pari 1882,3 kWh, mentre la media nazionale si attesta sui 2700 kWh. Questa discrepanza si può spiegare sia con il fatto di aver scorporato i consumi di energia frigorifera (split e pompa di calore) sia dall'aver utilizzato delle statistiche tra loro non omogenee e dall'aver utilizzato anche statistiche non nazionali (ad esempio per i consumi in standby) per la stima del numero di occorrenze giornaliere e per l'utilizzo di cicli di funzionamento degli elettrodomestici molto approssimativi per via della carenza di dati a disposizione. C'è da tener conto anche dell'assenza di dispositivi a minor diffusione, ma che stanno pian piano aumentando la loro penetrazione del mercato, come, ad esempio, l'asciugatrice. Tuttavia, questo non risulta essere un grosso problema, poiché come è stato precedentemente discusso il codice è stato scritto in modo da poter effettuare variazioni semplici e veloci dei dati in input al simulatore. È altresì importante far notare come la differenza quantitativa non affligga l'andamento qualitativo dei profili elettrici che, come visto, risultano avere andamenti molto simili ai profili effettivi. Stesso discorso riguarda la spesa media che risulta essere di 311,37 €, contro una media nazionale di 515€. Questa differenza risulta accentuata dall'applicazione della tariffa a scaglioni.

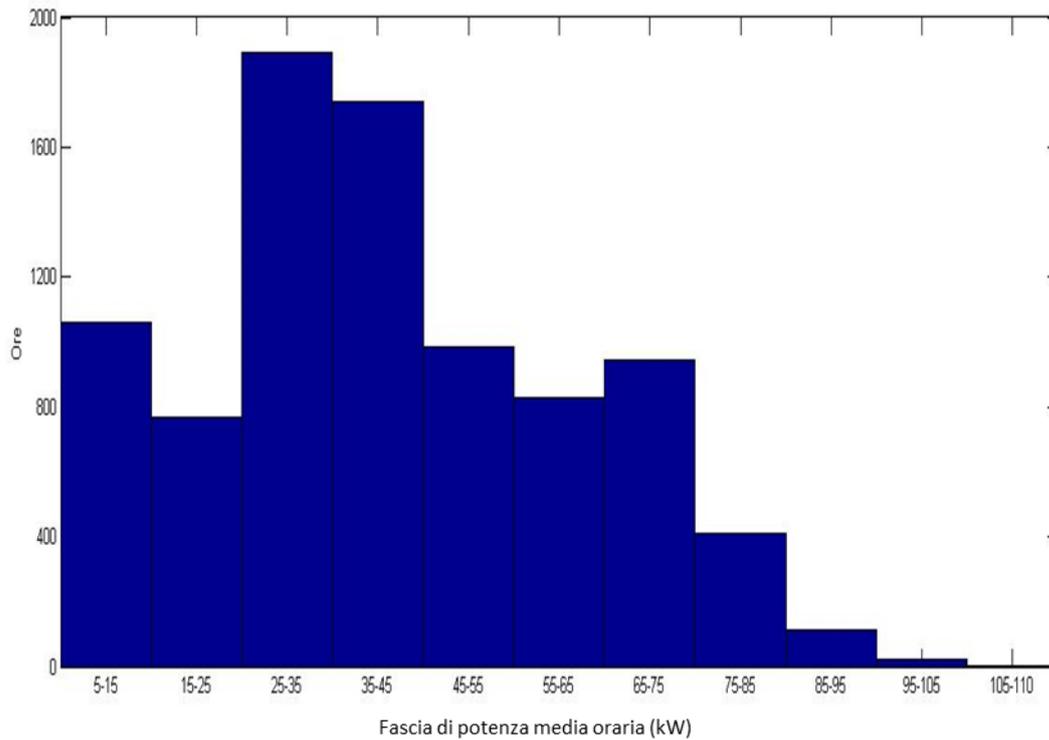


**Figura 90. – Distribuzione delle spese annuali dell’energia elettrica per un gruppo di 200 appartamenti ai quali è stata applicata la tariffa bioraria**

La Tabella 6 mostra la suddivisione dei consumi per fasce orarie nei 200 appartamenti simulati.

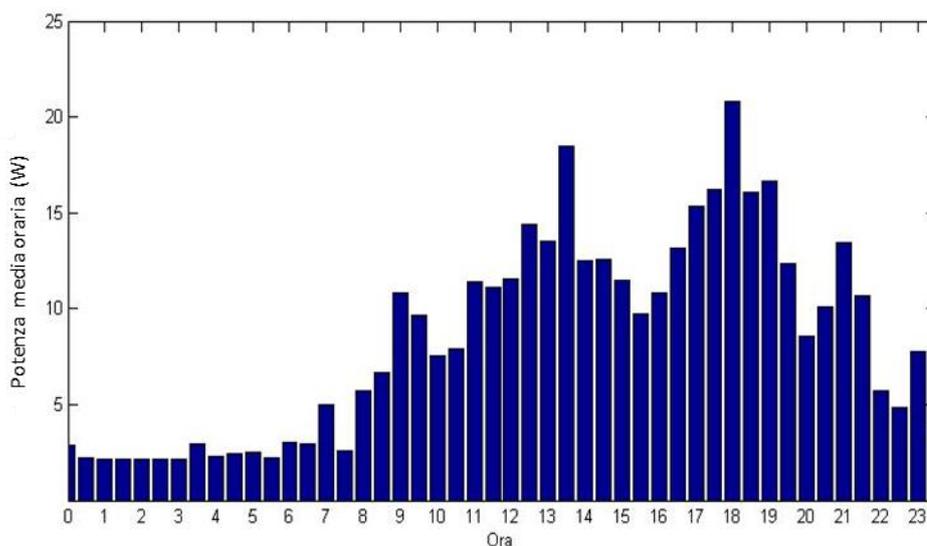
**Tabella 6 Spesa media dovuta al consumo, nella fascia oraria considerata, dei 200 appartamenti**

	Fascia F1	Fascia F2-3
Spesa percentuale	29,8%	70,2%



**Figura 91. – Tempo trascorso con un certo carico elettrico per un anno, da parte di un distretto di 200 appartamenti**

Infine, attraverso il simulatore di consumi elettrici è possibile generare profili statistici riguardo il consumo orario di singoli elettrodomestici mediato su un anno. Le Figura 92. Consumo orario del forno mediato per un gruppo di 10 appartamenti nell’arco dell’annomostrano, per un gruppo di 10 appartamenti, il consumo medio orario dei principali carichi programmabili di un appartamento vale a dire: forno, lavatrice e lavastoviglie. La Figura 95 mostra, sempre per un gruppo di 10 appartamenti, il consumo medio annuo aggregato delle tre tipologie di elettrodomestici. In pratica, queste figure, rappresentano la media del consumo medio annuo degli elettrodomestici per ciascuna ora del giorno.



**Figura 92. Consumo orario del forno mediato per un gruppo di 10 appartamenti nell’arco dell’anno**

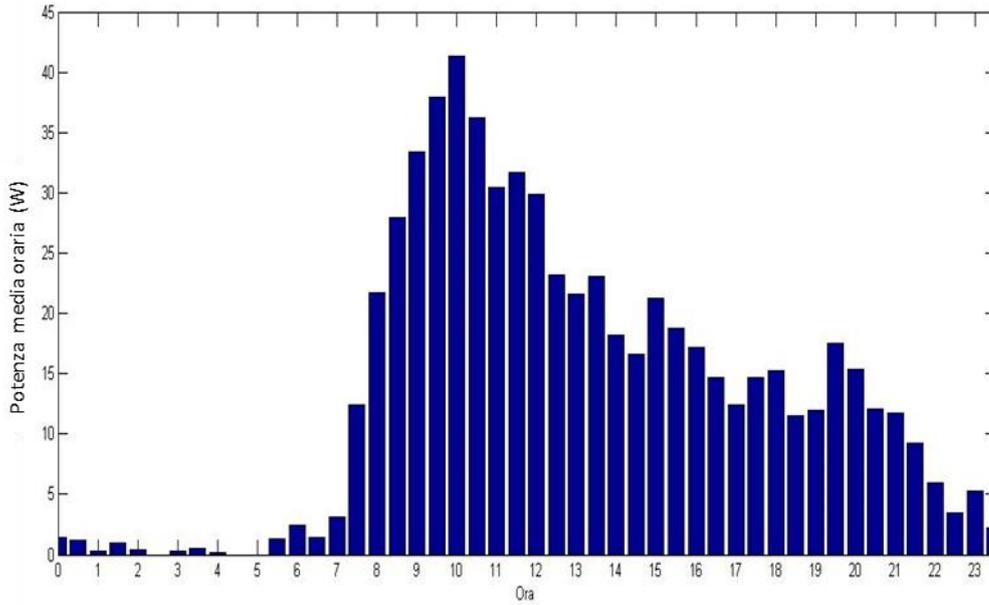


Figura 93. - Consumo orario della lavatrice mediato per un gruppo di 10 appartamenti nell'arco dell'anno

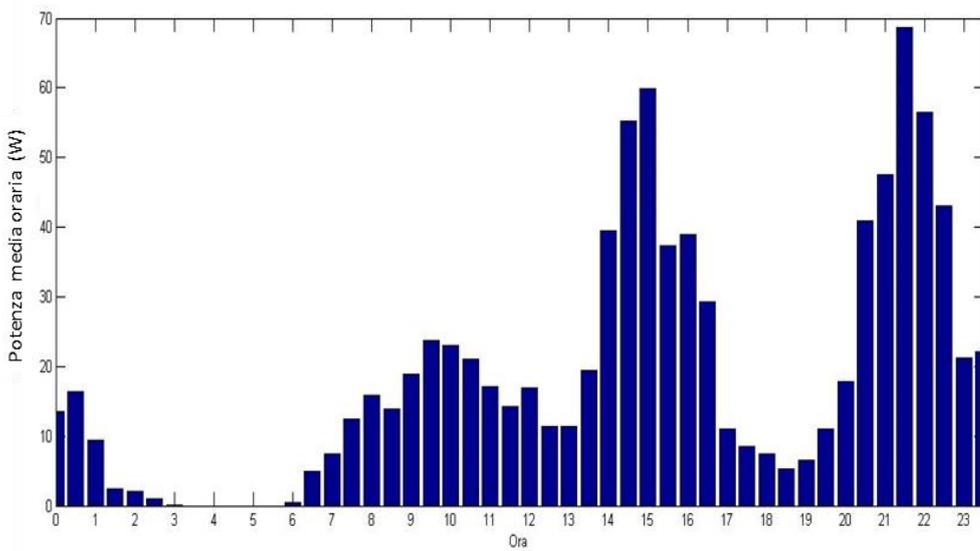


Figura 94. - Consumo orario della lavastoviglie mediato per un gruppo di 10 appartamenti nell'arco dell'anno

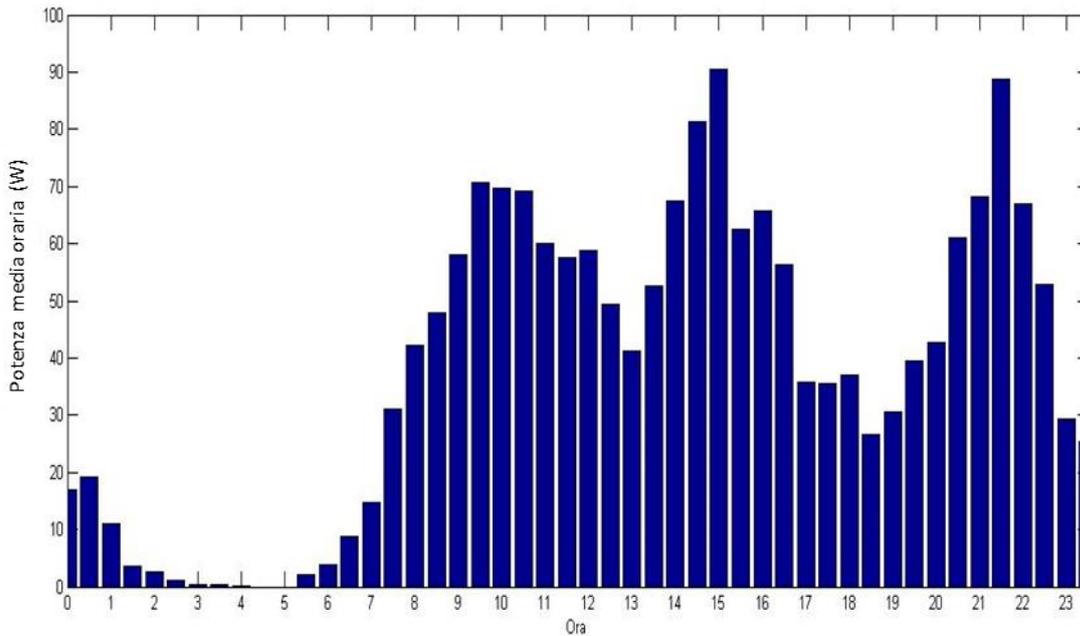


Figura 95. - Consumo orario aggregato di forno, lavatrice e lavastoviglie, mediato per un gruppo di 10 appartamenti nell'arco dell'anno

#### Aggregazione della domanda di energia termica

Per ottenere la domanda energetica aggregata, dall'analisi statistica sono stati definiti 108 use-case di riferimento. Questi use-case sono stati derivati, come già accennato, considerando tutte le combinazioni dei seguenti parametri:

- 3 diverse dimensioni degli appartamenti: 60 m<sup>2</sup> (piccolo), 80 m<sup>2</sup> (medio) e 100 m<sup>2</sup> (grande);
- 4 classi energetiche: 1, 5, 6 e 7;
- 3 tipologie di impianto: solo radiatori, radiatori e split, pompa di calore;
- 3 profili di utilizzo degli impianti: (A) domestico, famiglia e pendolare.

Nel processo di aggregazione, ciascun modello deve avere ovviamente un peso diverso a seconda della propria "diffusione" nel particolare quartiere o città considerata. Il numero di appartamenti da considerare per ciascun modello è stato quindi determinato facendo riferimento alle statistiche già riportate in Tabella 2. Per l'aggregazione è stato considerato un insieme iniziale di 1000 abitazioni nella città di Roma. Le approssimazioni all'intero durante i calcoli per l'aggregazione dei risultati ha portato a considerare un numero pari a 1005 appartamenti. La Tabella 7 riporta in dettaglio, per ciascuno dei 108 modelli considerati, il numero delle istanze del modello che sono state considerate nell'aggregato (il peso dello use-case nell'aggregato) e per ciascun sottogruppo (aggregato dello stesso use-case) i consumi per il riscaldamento/raffrescamento, i costi in euro complessivi e la classe energetica in termini di kWh/m<sup>2</sup>. Questa tabella riporta inoltre gli stessi parametri per l'aggregato di 1005 appartamenti oltre ad i valori medi. Per il calcolo della quantità di gas naturale consumata è stata fissato un potere calorifico inferiore del gas naturale pari a 9,3 kWh/smc. Per quanto riguarda invece la spesa energetica per elettricità e gas, questa è stata quantificata considerando i prezzi pubblicati ed aggiornati trimestralmente dall'AEEGSI (Autorità per l'energia elettrica, il gas ed il sistema idrico) relativamente alle condizioni economiche per i clienti domestici del Servizio di maggior tutela. Come noto, le tariffe considerate comprendono:

- *I servizi di vendita*  
È la principale voce di costo della bolletta dell'utente domestico tipo, residente e servito in maggior tutela. I servizi di vendita rappresentano tutti i servizi e le attività svolte dal fornitore per acquistare

e rivendere l'energia elettrica e il gas ai clienti. Sono suddivisi in tre principali voci di spesa: prezzo della materia energia; prezzo commercializzazione e vendita; prezzo del dispacciamento.

- *I servizi di rete*

È la voce di costo che comprende la spesa necessaria per l'attività di trasporto dell'energia elettrica sulle reti di trasmissione sia nazionali sia locali e la gestione del contatore. La tariffa viene fissata dall'Autorità sulla base di precisi indicatori, con criteri uniformi su tutto il territorio nazionale, tenendo conto dell'inflazione, degli investimenti realizzati e degli obiettivi di recupero di efficienza.

- *Gli oneri di sistema*

È la voce di costo che rappresenta l'imposta nazionale erariale di consumo (accisa) e l'imposta sul valore aggiunto (IVA).

Ogni voce di costo è suddivisa in due parti: *la quota energia*, calcolata in base all'energia effettivamente consumata, e *la quota fissa*, stabilita in relazione alla tipologia di utenza a prescindere dal consumo effettivo. I valori utilizzati nel per il presente studio sono stati estratti dalle tariffe del terzo trimestre del 2016, considerando solamente la quota energia. La tariffa dell'energia elettrica per gli appartamenti con caldaia tradizionale e condizionatore a split è stata ricavata dal tariffario delle utenze domestiche di tipologia A "Abitazioni di residenza anagrafica con potenza impegnata fino a 3 kW". È stato considerato il valore della quota energia della tariffa monoraria pari a **0,115712 €/kWh**, essendo i consumi elettrici nella maggior parte dei casi compresi tra 0 e 1800 kWh/anno. Nel caso di appartamenti dotati di pompa di calore inverter sono state considerate le tariffe della tipologia C "Abitazioni di residenza anagrafica con pompe di calore elettriche come unico sistema di riscaldamento". Nello specifico è stato preso il valore medio della quota energia della tariffa bioraria pari a **0,16108 €/kWh** poiché i consumi elettrici degli appartamenti sono oltre i 2640 kWh/anno. Il prezzo del gas è stato ricavato dalle tariffe applicate alle utenze domestiche delle regioni Lazio e Campania. Per questo è scelto il valore della quota energia pari a **0,441968 €/smc** essendo i consumi di gas compresi tra 481 e 1.560 smc/anno.

Tabella 7. Dati dei 108 use-case utilizzati per la derivazione della domanda aggregata dei 1005 appartamenti.

	Tipologia	Numero Appartamenti	Riscaldamento (Gas) kWh	Riscaldamento (Elettricità) kWh	Raffrescamento (Elettricità) kWh	Consumo metano smc	Costo elettricità €	Costo gas €	Costo totale €	Classe energetica kWh/mq
1	Piccolo-c1-rad-dom	6	45086	0	0	4848	0	2143	2143	125
2	Piccolo-c1-rad-fam	6	40562	0	0	4362	0	1928	1928	113
3	Piccolo-c1-rad-pen	6	37926	0	0	4078	0	1802	1802	105
4	Piccolo-c1-rad+split-dom	2	15029	0	193	1616	22	714	737	127
5	Piccolo-c1-rad+split-fam	2	13521	0	160	1454	19	643	661	114
6	Piccolo-c1-rad+split-pen	2	12642	0	133	1359	15	601	616	106
7	Piccolo-c1-pc+ven-dom	1	0	2204	122	0	375	0	375	39
8	Piccolo-c1-pc+ven-fam	1	0	1983	102	0	336	0	336	35
9	Piccolo-c1-pc+ven-pen	1	0	1854	85	0	312	0	312	32
10	Piccolo-c5-rad-dom	40	284041	0	0	30542	0	13499	13499	118
11	Piccolo-c5-rad-fam	40	256307	0	0	27560	0	12181	12181	107
12	Piccolo-c5-rad-pen	40	239884	0	0	25794	0	11400	11400	100
13	Piccolo-c5-rad+split-dom	14	99414	0	1989	10690	230	4725	4955	121
14	Piccolo-c5-rad+split-fam	14	89707	0	1688	9646	195	4263	4459	109
15	Piccolo-c5-rad+split-pen	14	83959	0	1454	9028	168	3990	4158	102
16	Piccolo-c5-pc+ven-dom	4	0	8332	721	0	1458	0	1458	38
17	Piccolo-c5-pc+ven-fam	4	0	7518	612	0	1310	0	1310	34
18	Piccolo-c5-pc+ven-pen	4	0	7037	527	0	1218	0	1218	32
19	Piccolo-c6-rad-dom	43	256827	0	0	27616	0	12205	12205	100
20	Piccolo-c6-rad-fam	43	233767	0	0	25136	0	11109	11109	91
21	Piccolo-c6-rad-pen	43	219555	0	0	23608	0	10434	10434	85
22	Piccolo-c6-rad+split-dom	15	89591	0	1786	9633	207	4258	4464	102
23	Piccolo-c6-rad+split-fam	15	81546	0	1526	8768	177	3875	4052	92
24	Piccolo-c6-rad+split-pen	15	76589	0	1299	8235	150	3640	3790	87
25	Piccolo-c6-pc+vent-dom	4	0	7008	604	0	1226	0	1226	32
26	Piccolo-c6-pc+vent-fam	4	0	6379	517	0	1111	0	1111	29
27	Piccolo-c6-pc+vent-pen	4	0	5991	440	0	1036	0	1036	27
28	Piccolo-c7-rad-dom	12	62138	0	0	6682	0	2953	2953	86

	Tipologia	Numero Appartamenti	Riscaldamento (Gas)	Riscaldamento (Elettricità)	Raffrescamento (Elettricità)	Consumo metano	Costo elettricità	Costo gas	Costo totale	Classe energetica
			kWh	kWh	kWh	smc	€	€	€	kWh/mq
29	Piccolo-c7-rad-fam	12	56894	0	0	6118	0	2704	2704	79
30	Piccolo-c7-rad-pen	12	53524	0	0	5755	0	2544	2544	74
31	Piccolo-c7-rad+split-dom	4	20713	0	179	2227	21	984	1005	87
32	Piccolo-c7-rad+split-fam	4	18965	0	153	2039	18	901	919	80
33	Piccolo-c7-rad+split-pen	4	17841	0	128	1918	15	848	863	75
34	Piccolo-c7-pc+ven-dom	1	0	1519	57	0	254	0	254	26
35	Piccolo-c7-pc+ven-fam	1	0	1391	48	0	232	0	232	24
36	Piccolo-c7-pc+ven-pen	1	0	1308	41	0	217	0	217	22
37	Medio-c1-rad-dom	5	51722	0	0	5562	0	2458	2458	129
38	Medio-c1-rad-fam	5	46667	0	0	5018	0	2218	2218	117
39	Medio-c1-rad-pen	5	43633	0	0	4692	0	2074	2074	109
40	Medio-c1-rad+split-dom	2	20689	0	270	2225	31	983	1014	131
41	Medio-c1-rad+split-fam	2	18667	0	225	2007	26	887	913	118
42	Medio-c1-rad+split-pen	2	17453	0	187	1877	22	829	851	110
43	Medio-c1-pc+ven-dom	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Medio-c1-pc+ven-fam	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	Medio-c1-pc+ven-pen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	Medio-c5-rad-dom	33	323236	0	0	34757	0	15361	15361	122
47	Medio-c5-rad-fam	33	292384	0	0	31439	0	13895	13895	111
48	Medio-c5-rad-pen	33	273679	0	0	29428	0	13006	13006	104
49	Medio-c5-rad+split-dom	12	117539	0	2356	12639	273	5586	5859	125
50	Medio-c5-rad+split-fam	12	106321	0	2011	11432	233	5053	5285	113
51	Medio-c5-rad+split-pen	12	99520	0	1725	10701	200	4730	4929	105
52	Medio-c5-pc+ven-dom	3	0	8620	748	0	1509	0	1509	39
53	Medio-c5-pc+ven-fam	3	0	7797	638	0	1359	0	1359	35
54	Medio-c5-pc+ven-pen	3	0	7298	547	0	1264	0	1264	33

	Tipologia	Numero Appartamenti	Riscaldamento (Gas) kWh	Riscaldamento (Elettricità) kWh	Raffrescamento (Elettricità) kWh	Consumo metano smc	Costo elettricità €	Costo gas €	Costo totale €	Classe energetica kWh/mq
55	Medio-c6-rad-dom	36	298003	0	0	32043	0	14162	14162	103
56	Medio-c6-rad-fam	36	271787	0	0	29224	0	12916	12916	94
57	Medio-c6-rad-pen	36	255261	0	0	27447	0	12131	12131	89
58	Medio-c6-rad+split-dom	13	107612	0	2126	11571	246	5114	5360	106
59	Medio-c6-rad+split-fam	13	98145	0	1824	10553	211	4664	4875	96
60	Medio-c6-rad+split-pen	13	92178	0	1548	9912	179	4381	4560	90
61	Medio-c6-pc+ven-dom	3	0	7285	623	0	1274	0	1274	33
62	Medio-c6-pc+ven-fam	3	0	6644	534	0	1156	0	1156	30
63	Medio-c6-pc+ven-pen	3	0	6240	453	0	1078	0	1078	28
64	Medio-c7-rad-dom	10	72061	0	0	7748	0	3425	3425	90
65	Medio-c7-rad-fam	10	66090	0	0	7106	0	3141	3141	83
66	Medio-c7-rad-pen	10	62199	0	0	6688	0	2956	2956	78
67	Medio-c7-rad+split-dom	4	28824	0	251	3099	29	1370	1399	91
68	Medio-c7-rad+split-fam	4	26436	0	215	2843	25	1256	1281	83
69	Medio-c7-rad+split-pen	4	24880	0	179	2675	21	1182	1203	78
70	Medio-c7-pc+ven-dom	1	0	2114	80	0	353	0	353	27
71	Medio-c7-pc+ven-fam	1	0	1939	68	0	323	0	323	25
72	Medio-c7-pc+ven-pen	1	0	1825	57	0	303	0	303	24
73	Grande-c1-rad-dom	3	34226	0	0	3680	0	1627	1627	114
74	Grande-c1-rad-fam	3	30799	0	0	3312	0	1464	1464	103
75	Grande-c1-rad-pen	3	28752	0	0	3092	0	1366	1366	96
76	Grande-c1-rad+split-dom	1	11409	0	127	1227	15	542	557	115
77	Grande-c1-rad+split-fam	1	10266	0	105	1104	12	488	500	104
78	Grande-c1-rad+split-pen	1	9584	0	87	1031	10	455	466	97
79	Grande-c1-pc+ven-dom	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	Grande-c1-pc+ven-fam	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	Grande-c1-pc+ven-pen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Grande-c5-rad-dom	18	192275	0	0	20675	0	9138	9138	107
83	Grande-c5-rad-fam	18	173574	0	0	18664	0	8249	8249	96

	Tipologia	Numero Appartamenti	Riscaldamento (Gas) kWh	Riscaldamento (Elettricità) kWh	Raffrescamento (Elettricità) kWh	Consumo metano smc	Costo elettricità €	Costo gas €	Costo totale €	Classe energetica kWh/mq
84	Grande-c5-rad-pen	18	162323	0	0	17454	0	7714	7714	90
85	Grande-c5-rad+split-dom	7	74774	0	1395	8040	161	3554	3715	109
86	Grande-c5-rad+split-fam	7	67501	0	1182	7258	137	3208	3345	98
87	Grande-c5-rad+split-pen	7	63126	0	1008	6788	117	3000	3117	92
88	Grande-c5-pc+ven-dom	2	0	6267	506	0	1091	0	1091	34
89	Grande-c5-pc+ven-fam	2	0	5657	428	0	980	0	980	30
90	Grande-c5-pc+ven-pen	2	0	5291	366	0	911	0	911	28
91	Grande-c6-rad-dom	20	180853	0	0	19447	0	8595	8595	90
92	Grande-c6-rad-fam	20	164712	0	0	17711	0	7828	7828	82
93	Grande-c6-rad-pen	20	154575	0	0	16621	0	7346	7346	77
94	Grande-c6-rad+split-dom	7	63299	0	1189	6806	138	3008	3146	92
95	Grande-c6-rad+split-fam	7	57649	0	1013	6199	117	2740	2857	84
96	Grande-c6-rad+split-pen	7	54101	0	852	5817	99	2571	2670	79
97	Grande-c6-pc+ven-dom	2	0	5305	431	0	924	0	924	29
98	Grande-c6-pc+ven-fam	2	0	4832	367	0	837	0	837	26
99	Grande-c6-pc+ven-pen	2	0	4534	309	0	780	0	780	24
100	Grande-c7-rad-dom	5	39286	0	0	4224	0	1867	1867	79
101	Grande-c7-rad-fam	5	35794	0	0	3849	0	1701	1701	72
102	Grande-c7-rad-pen	5	33643	0	0	3618	0	1599	1599	67
103	Grande-c7-rad+split-dom	2	15715	0	111	1690	13	747	760	79
104	Grande-c7-rad+split-fam	2	14318	0	93	1540	11	680	691	72
105	Grande-c7-rad+split-pen	2	13457	0	76	1447	9	640	648	68
106	Grande-c7-pc+ven-dom	0	0	0	0	0	0	0	0	0
107	Grande-c7-pc+ven-fam	0	0	0	0	0	0	0	0	0
108	Grande-c7-pc+ven-pen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Valori totali</b>	<b>1005</b>	<b>6907024</b>	<b>134169</b>	<b>40874</b>	<b>742691</b>	<b>26797</b>	<b>328246</b>	<b>355042</b>	

	Tipologia	Numero Appartamenti	Riscaldamento (Gas)	Riscaldamento (Elettricità)	Raffrescamento (Elettricità)	Consumo metano	Costo elettricità	Costo gas	Costo totale	Classe energetica
			kWh	kWh	kWh	smc	€	€	€	kWh/mq
	<b>Valori medi</b>		<b>7332</b>	<b>2130</b>	<b>131</b>	<b>788</b>	<b>86</b>	<b>348</b>	<b>353</b>	<b>94</b>

Di tutti i 108 use-case vengono di seguito riportati 4 casi particolari (Tabella 8). Questo per mostrare le potenzialità dello strumento con maggiore dettaglio. In particolare vengono mostrati i risultati per gli appartamenti di media dimensione (80m<sup>2</sup>), nelle 4 classi costruttive, caratterizzati da un impianto con caldaia e split e con profilo utente di tipo “famiglia”.

**Tabella 8. Modelli messi in evidenza tra tutti i 108 modelli generati per l’aggregazione.**

	Appartamento 1	Appartamento 2	Appartamento 3	Appartamento 4
Dimensioni superficiale	Media (80mq)	Media (80mq)	Media (80mq)	Media (80mq)
Classe costruttiva	Classe 1, fino al 900	Classe 5, dal 1961 al 1975	Classe 6, dal 1976 al 1990	Classe 7, dal 1991 al 2005
Tipologia di impianto	Impianto di riscaldamento con caldaia tradizionale e radiatori e impianto di raffrescamento con split system	Impianto di riscaldamento con caldaia tradizionale e radiatori e impianto di raffrescamento con split system	Impianto di riscaldamento con caldaia tradizionale e radiatori e impianto di raffrescamento con split system	Impianto di riscaldamento con caldaia tradizionale e radiatori e impianto di raffrescamento con split system
Profilo di utilizzo	Profilo Famiglia	Profilo Famiglia	Profilo Famiglia	Profilo Famiglia

**Tabella 9. Risultati messi in evidenza per i 4 casi particolari analizzati.**

	Riscaldamento (Gas)	Raffrescamento (Elettricità)	Consumo metano	Costo energia elettrica	Costo gas	Costo totale	Classe energetica
	kWh	kWh	smc	€	€	€	kWh/mq
Appart.1	9333	112	1003	13	443	456	118
Appart.2	8860	167	952	19	421	440	112
Appart.3	7549	140	811	16	358	375	96
Appart.4	6608	53	710	6	314	320	83

Di questi 4 appartamenti, in Tabella 9 sono messi in evidenza e a confronto i dati ottenuti dalle simulazioni. Di seguito sono inoltre riportati in dettaglio i grafici orari delle potenze termiche per il riscaldamento/raffreddamento (Figura 96 e Figura 97) , le potenze elettrica e in termini di gas (Figura 98 e Figura 99) ed infine la temperatura dell’aria per una zona termica (Figura 100).

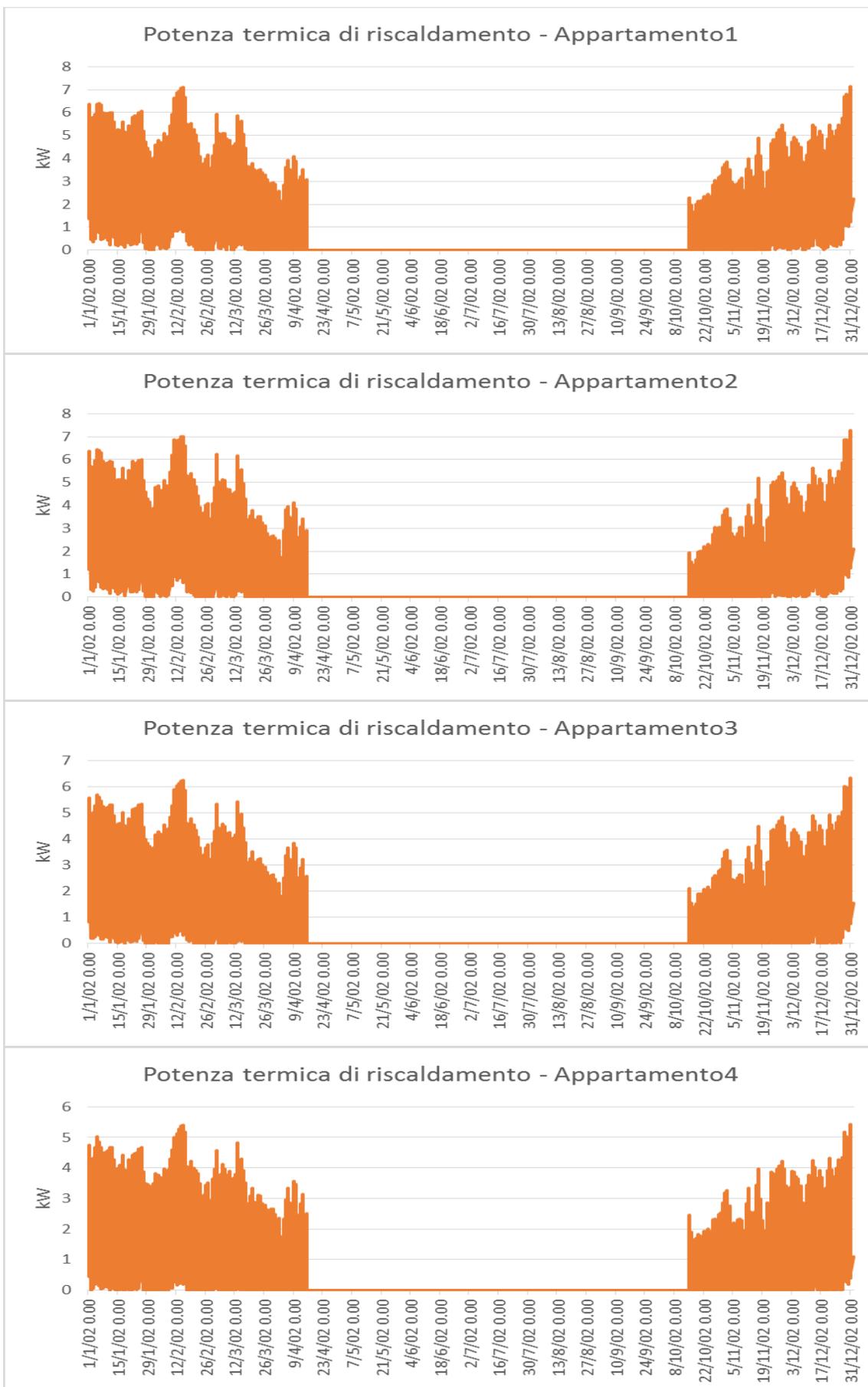


Figura 96. Andamento annuale della potenza termica per il riscaldamento per i 4 casi particolari.

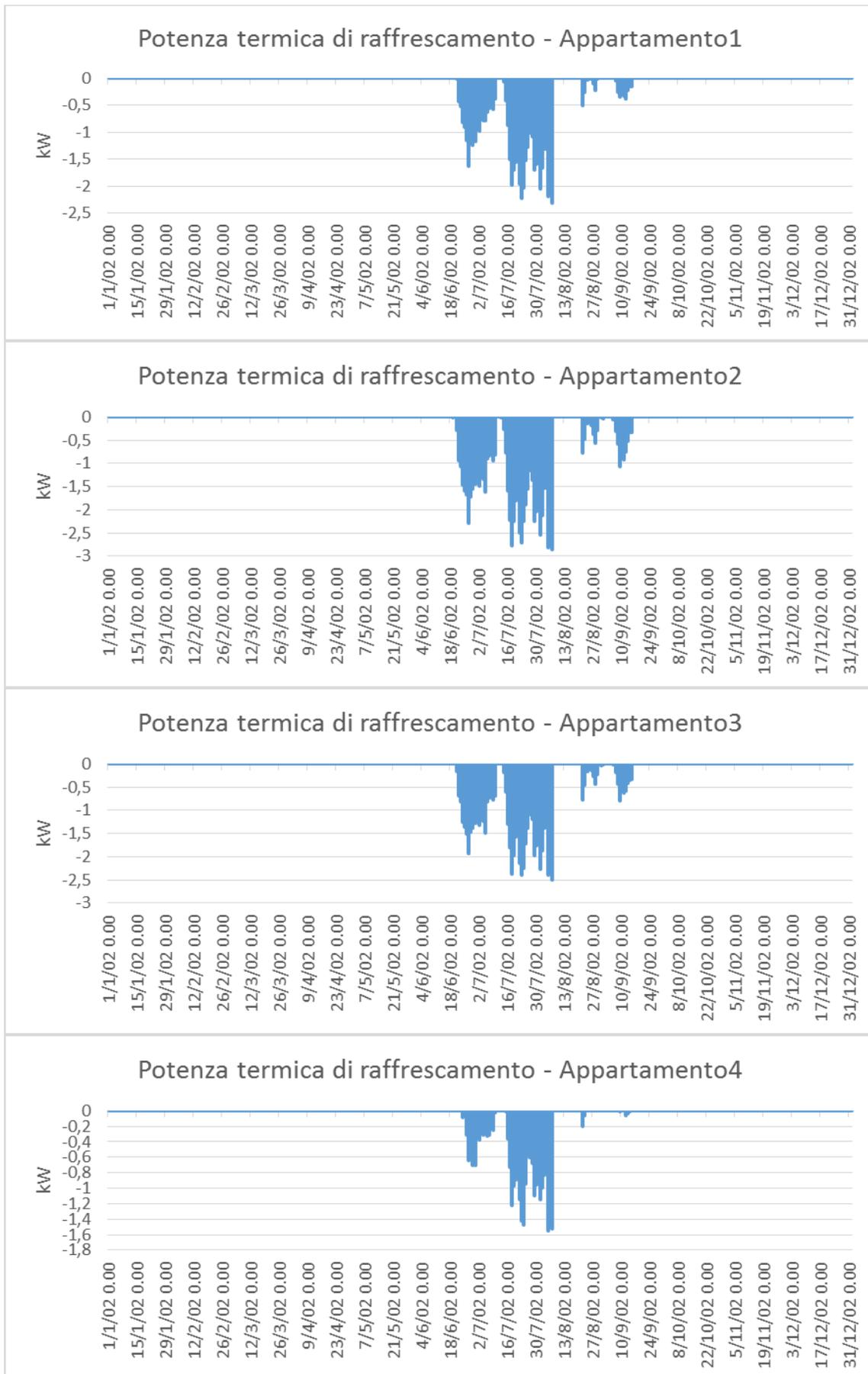


Figura 97. Andamento annuale della potenza termica pe il raffreddamento per i 4 casi particolari.

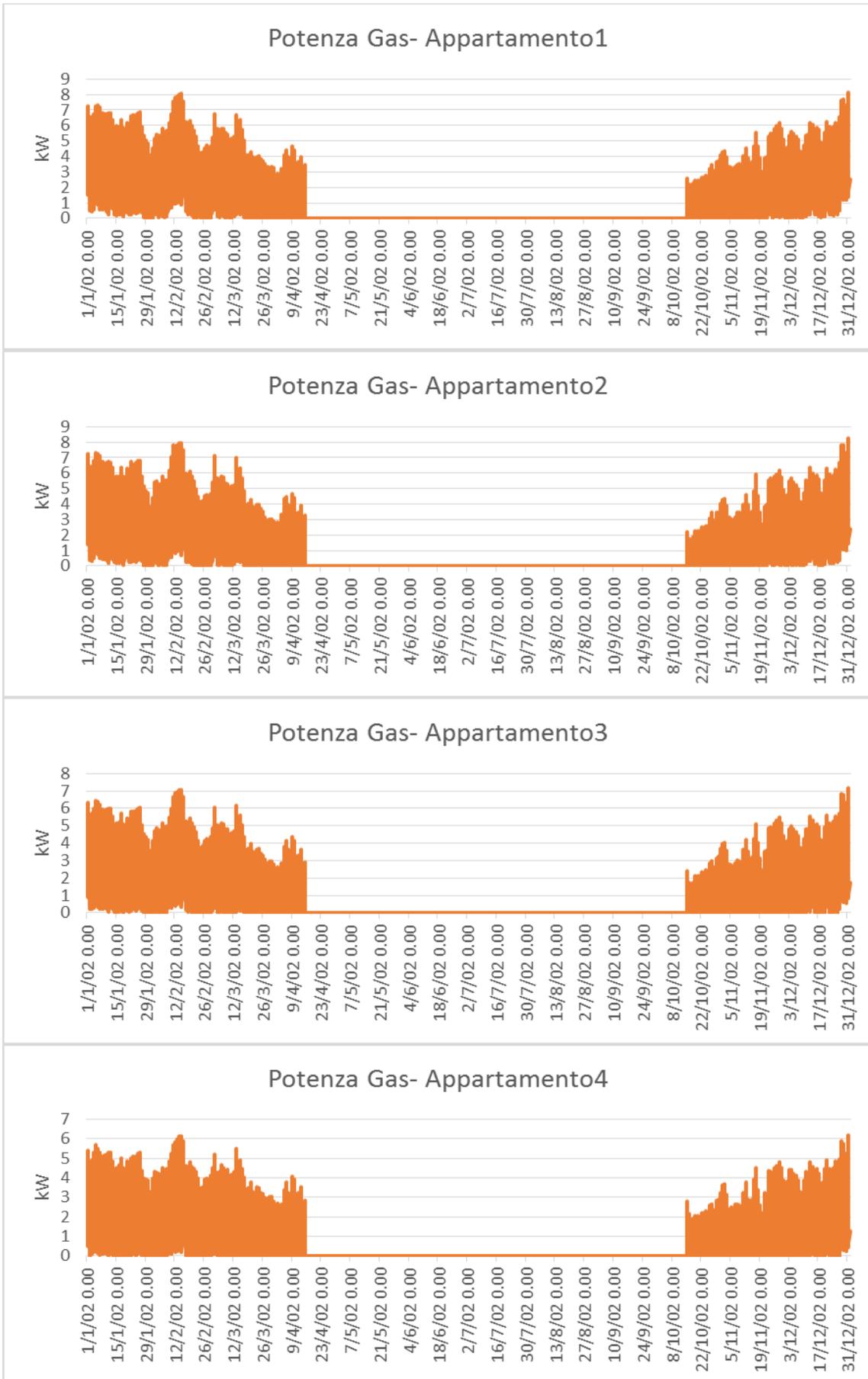


Figura 98. Andamento annuale della potenza del gas naturale per i 4 casi particolari.

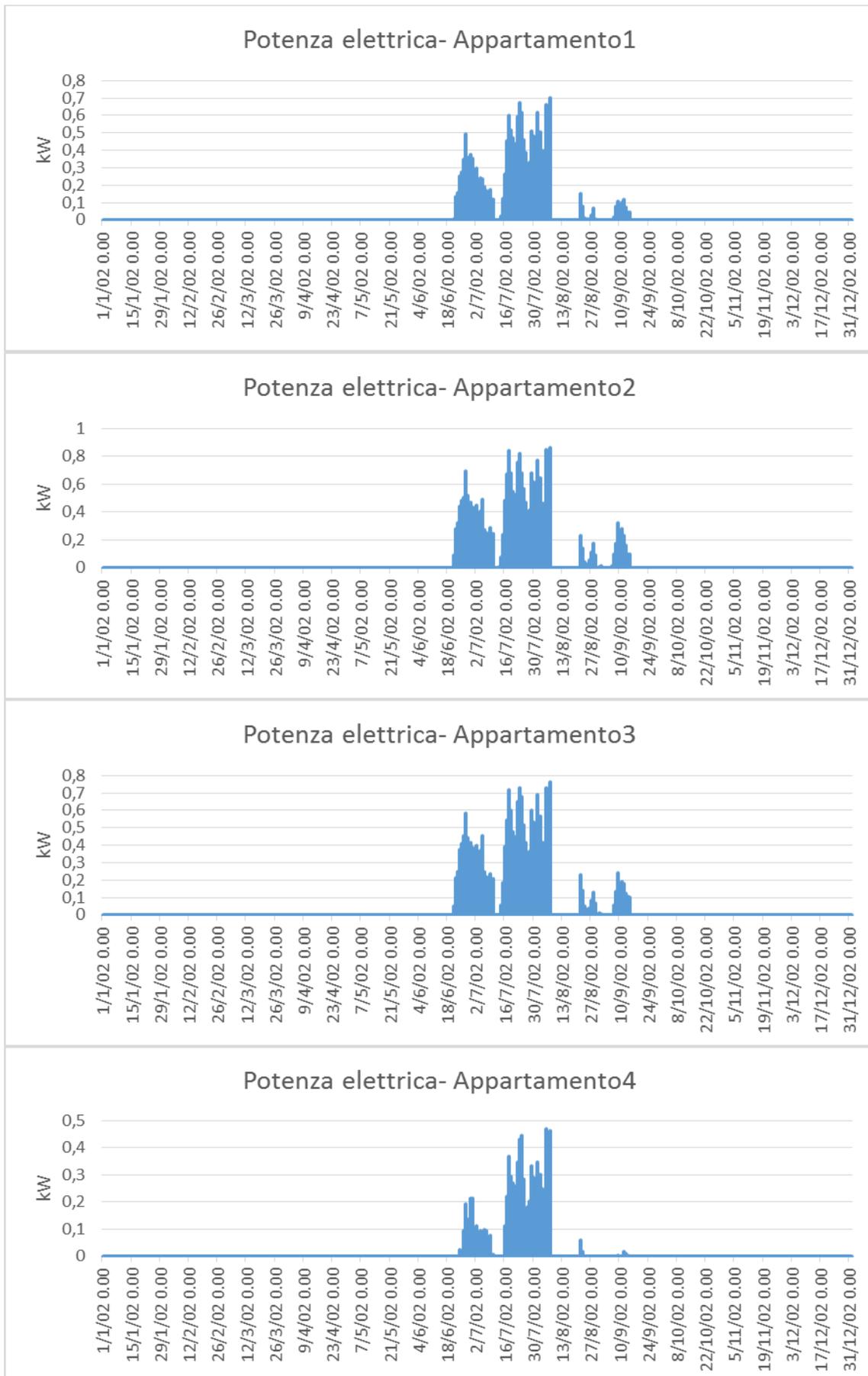


Figura 99. Andamento annuale della potenza elettrica per i 4 casi particolari.

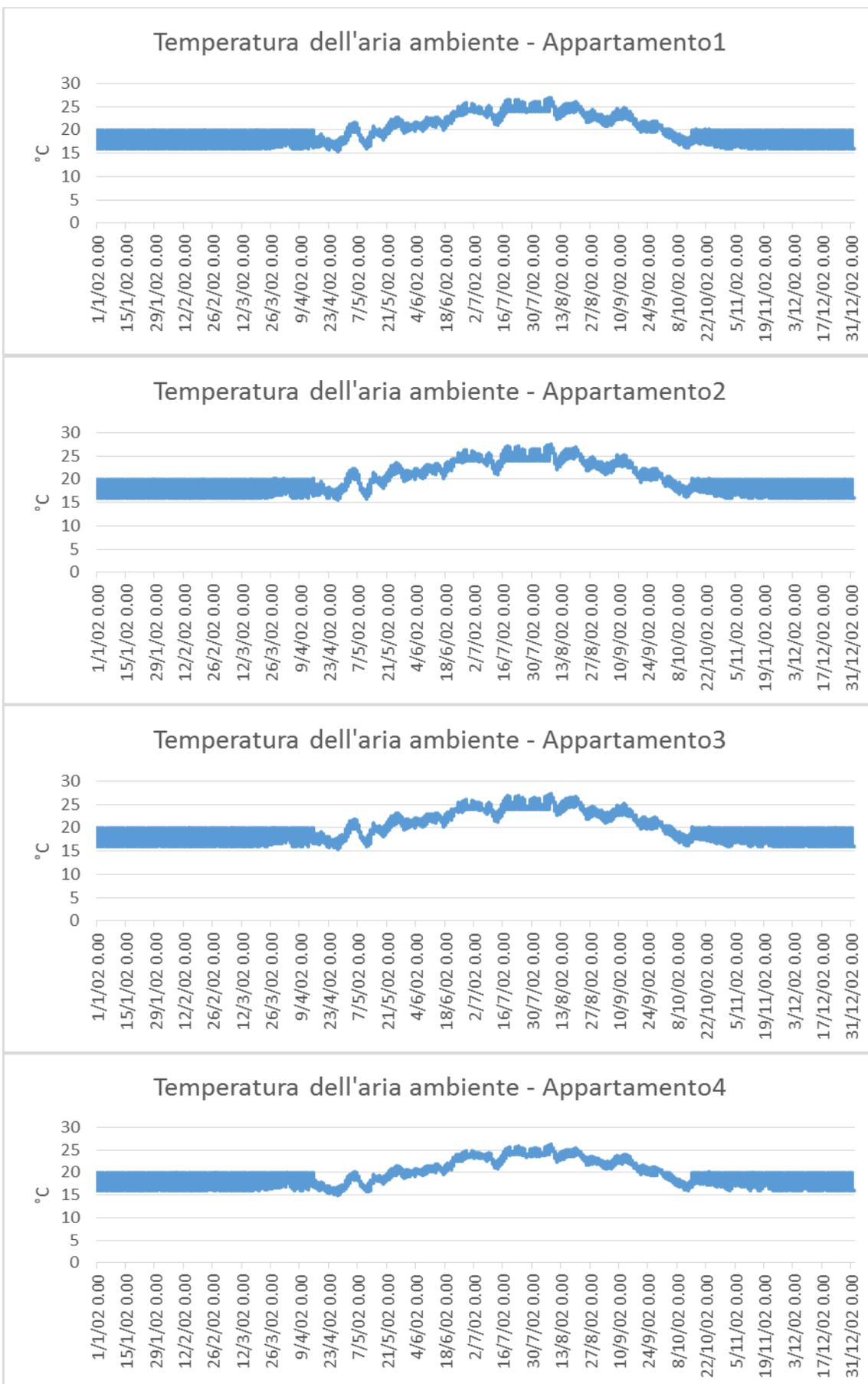


Figura 100. Andamento annuale delle temperature di zona per i 4 casi particolari.

Lo strumento software implementato permette l'export e l'analisi dai dati anche su passo orario. Per mostrare come lo strumento software consenta l'analisi anche per stretti intervalli temporali, per il solo appartamento 1, vengono presentati i grafici giornalieri delle stesse grandezze appena mostrate. In particolare vengono riportati per il giorno 7 Gennaio gli andamenti di potenza termica per il riscaldamento (Figura 101), della potenza termica prodotta da gas metano (Figura 103) e della temperatura interna (Figura 105). Per il 7 Agosto vengono riportati gli andamenti di potenza termica per il raffrescamento (Figura 102), elettrica per il raffrescamento (Figura 102) e della temperatura interna (Figura 106).

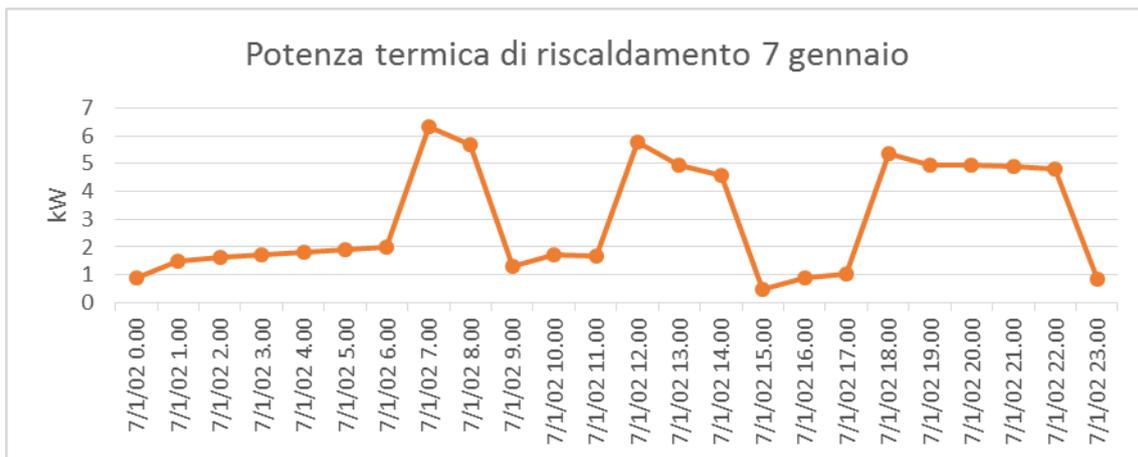


Figura 101. Andamento giornaliero della potenza termica di riscaldamento dell'appartamento 1.

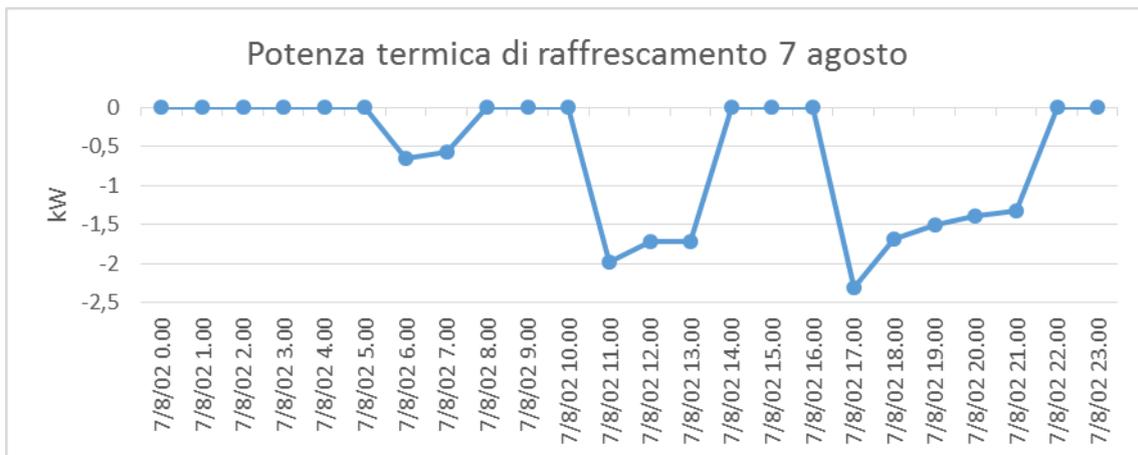


Figura 102. Andamento giornaliero della potenza termica di raffrescamento dell'appartamento 1

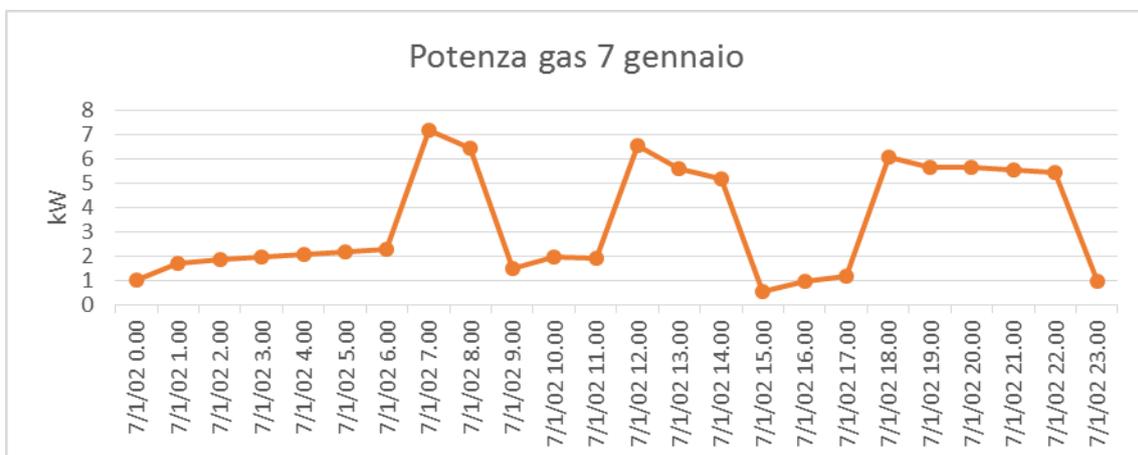


Figura 103. Andamento giornaliero della potenza in gas naturale dell'appartamento 1.

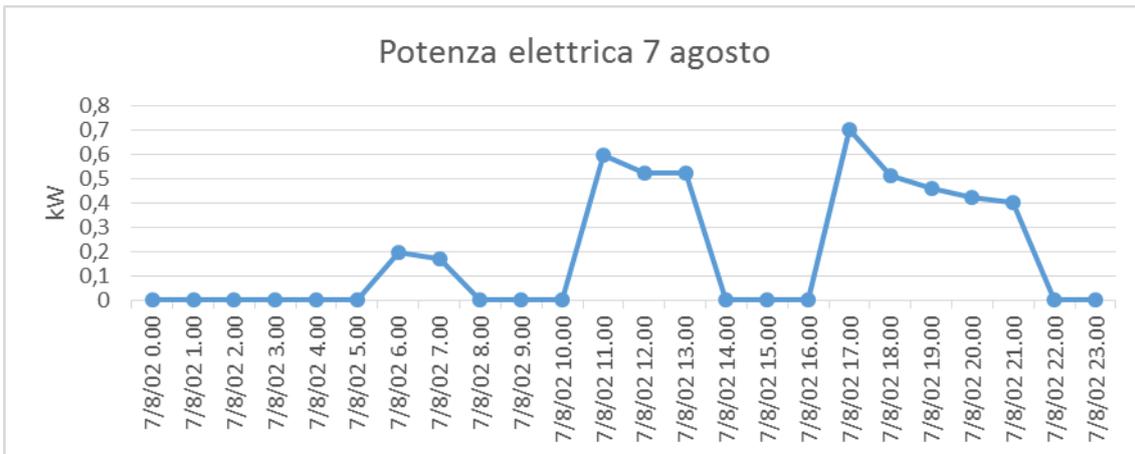


Figura 104. Andamento giornaliero della potenza elettrica dell'appartamento 1

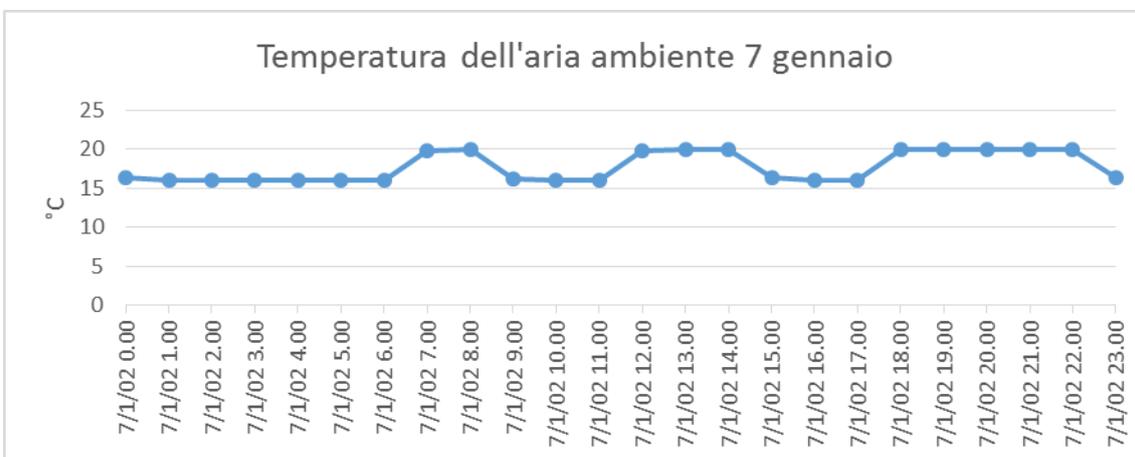


Figura 105. Andamento giornaliero (7 gennaio) della temperatura dell'aria ambiente dell'appartamento 1



Figura 106. Andamento giornaliero (7 agosto) della temperatura dell'aria ambiente dell'appartamento 1.

Dai risultati mostrati è possibile sottolineare quindi le potenzialità dello strumento sia per ottenere dati aggregati annuali, sia per simulazioni dinamiche con breve intervallo temporale.

### 1.3 Simulazione di differenti scenari di monitoraggio

Dopo aver sviluppato il simulatore della domanda di energia termica nel settore residenziale sia di singoli appartamenti che di utenze aggregate tra loro, l'attività si è concentrata sulla simulazione di differenti scenari di monitoraggio. In pratica, si è focalizzata l'attenzione su una tipologia di appartamento ( Tabella 3) e sono stati simulati differenti impostazioni di set-point (Tabella 5) rappresentativi di differenti scenari di gestione e monitoraggio degli impianti HVAC. Nello specifico i quattro modelli con differenti configurazioni dello stesso impianto di climatizzazione, simulati in questa fase, sono:

- **Caso di riferimento (A)**  
Questo scenario è lo scenario di riferimento che è stato anche utilizzato per simulare i 108 casi d'uso. In particolare, si considerano per ogni ambiente, le temperature di set-point di 20° C per il riscaldamento e di 24°C per il raffrescamento. Mentre le temperature che determinano il funzionamento in attenuazione degli impianti sono 16°C per il riscaldamento e 28°C per il raffrescamento.
- **Caso con temperature del termostato maggiormente conservative (B)**  
In questo scenario i valori di set-point vengono impostati su valori più conservativi ma tali da garantire ancora le condizioni di comfort termico. In particolare viene abbassata la temperatura di set-point dell'impianto di riscaldamento a 18°C, lasciando la temperatura di attenuazione a 16°C, mentre la temperatura di set-point per il raffrescamento viene portata a 26°C, mantenendo l'attenuazione a 28°C.
- **Caso in assenza di termostato (C)**  
In questo scenario si intende simulare l'accensione manuale degli impianti di climatizzazione. In particolare, è stato stabilito un set-point ambiente particolarmente alto in estate e basso in inverno in modo da rappresentare l'utilizzo degli impianti da parte dell'utente finale in relazione alle percezioni termiche in assenza del termostato ambiente che ne regolamenti il funzionamento. In pratica i set-point sono stati impostati in modo tale da simulare lo spegnimento manuale da parte dell'utente dell'impianto di riscaldamento quando "è caldo" o quando "è freddo": durante il periodo di riscaldamento il set-point è stato impostato a 22,5°C, mentre durante il periodo di raffrescamento il set-point è stato fissato pari a 23°C; in entrambi i casi, non viene impostata la temperatura di attenuazione.
- **Caso di presenza delle valvole di termoregolazione e di variazione della temperatura del termostato del condizionatore (D)**  
In questo scenario, si intende simulare l'utilizzo di valvole di termoregolazione per il riscaldamento e differenti condizioni operative degli split per il raffrescamento. Questo viene fatto impostando diverse temperature di set-point nelle varie stanze. In particolare, per il periodo di riscaldamento la temperatura di set-point del soggiorno e del bagno è stata impostata a 20° C con attenuazione di 16° C; nelle altre stanze (camera e cucina) le temperature di set-point sono di 18°C con temperatura di attenuazione mantenuta pari a 16°C. Per il periodo di raffrescamento, la temperatura di set-point del soggiorno e del bagno è stata impostata a 24° C con attenuazione di 28° C; nelle altre stanze (camera e cucina) le temperature di set-point sono di 26°C con temperatura di attenuazione mantenuta pari a 28°C.

La Tabella 10 riporta i principali risultati delle simulazioni di un anno dei diversi scenari di monitoraggio e controllo, ordinati per consumo energetico decrescente (dal più energivoro al meno energivoro). Si può notare come lo scenario base (Caso A), che contempla il termostato, sia migliore, ovviamente, dello scenario senza termostato (Caso C); inoltre si può notare sia il beneficio dell'installazione delle smart valve nelle varie stanze sia quello di impostare set-point di temperatura meno stringenti. Come prevedibile, il beneficio marginale è sempre più basso man mano che la situazione di partenza migliora: ad esempio, il

risparmio annuo ottenibile installando le smart valve è di quasi 350 mc di metano se confrontato con il caso “senza termostato”, ma scende a 100 mc se confrontato con il caso di riferimento “con termostato”.

**Tabella 10. Risultati delle simulazioni annuali per i 4 differenti scenari studiati**

	Riscaldamento di Zona	Raffrescamento Totale	Consumo metano	Consumo elettricità per condizionamento
	kWh/anno	kWh/anno	mc/anno	kWh/anno
Senza termostato (Caso C)	8678 (-)	-753 (-)	1038 (-)	301 (-)
Con termostato (Caso A)	6644 (-23%)	-463 (-39%)	795 (-23%)	185 (-39%)
Con valvole di termoregolazione (Caso D)	5802 (-33%)	-257 (-66%)	694 (-33%)	103 (-66%)
Con termostato con temperature conservative (Caso B)	5132 (-41%)	-108 (-86%)	614 (-41%)	43 (-86%)

La Figura 107 riporta l’andamento della domanda oraria di potenza termica per ciascuno degli scenari presi in considerazione.

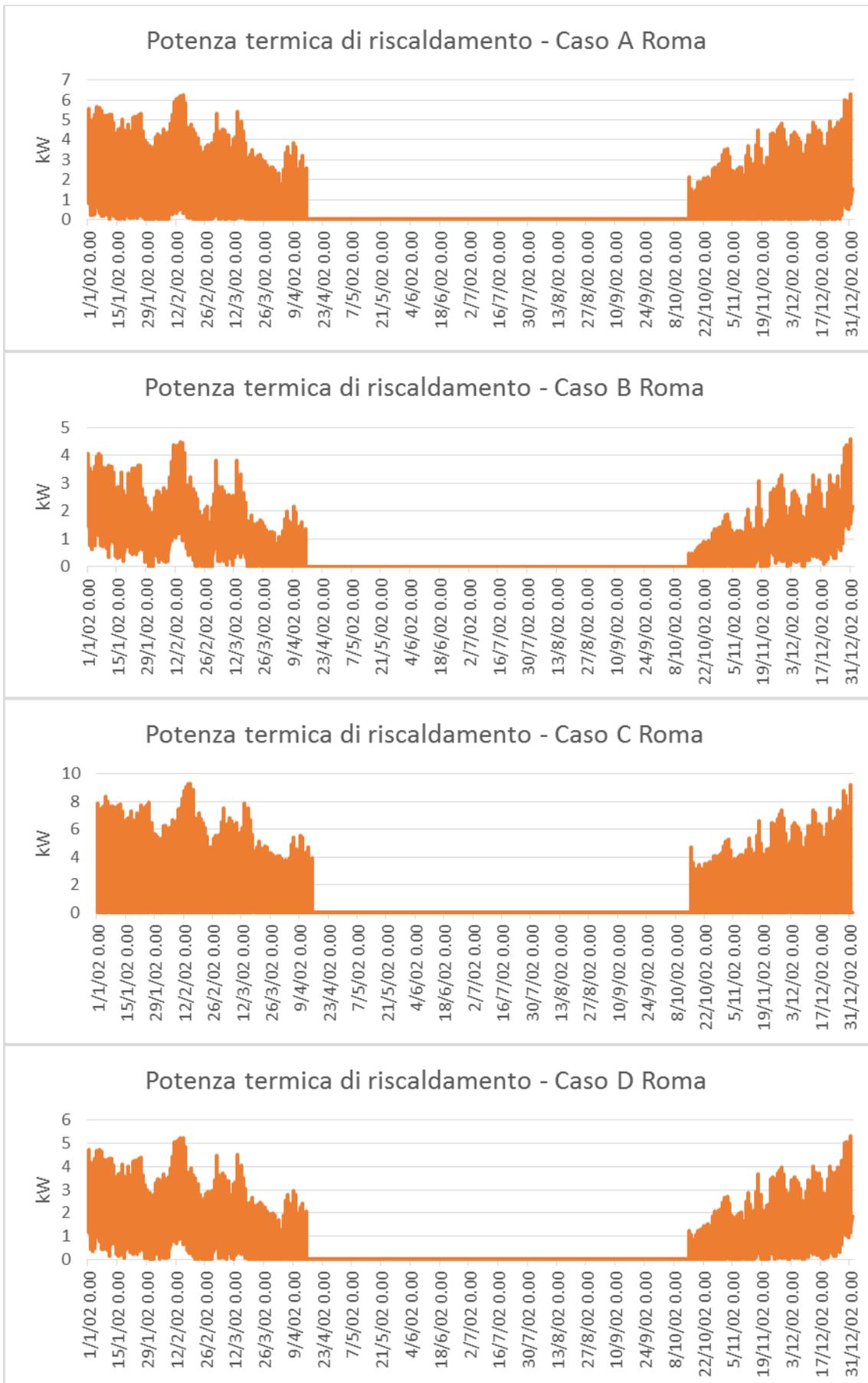
La Figura 108 riporta l’andamento della domanda oraria di potenza frigorifera per ciascuno degli scenari presi in considerazione.

E’ importante ricordare che la domanda di energia termica e frigorifera, rappresenta la domanda di servizio energetico dell’appartamento preso in considerazione, vale a dire l’energia che deve essere fornita (in inverno) o sottratta (in estate) affinché l’ambiente condizionato venga mantenuto alla temperatura di set-point impostata. Per passare dalla domanda di servizio energetico alla domanda di vettore energetico, bisogna considerare la tipologia di impianto HVAC ed il suo rendimento.

La Figura 109 riporta l’andamento della domanda oraria di gas naturale per soddisfare la domanda oraria di potenza termica con una caldaia il cui rendimento è dell’88%.

Analogamente, la Figura 110 riporta l’andamento della domanda oraria di elettricità necessaria a soddisfare la domanda oraria di potenza frigorifera con uno split.

Infine, la Figura 111 riporta l’andamento delle temperature interne nei 4 scenari considerati da cui emerge chiaramente il diverso set-point di temperatura di ciascun caso.



**Figura 107. Risultati delle simulazioni della domanda di riscaldamento nei 4 scenari studiati**

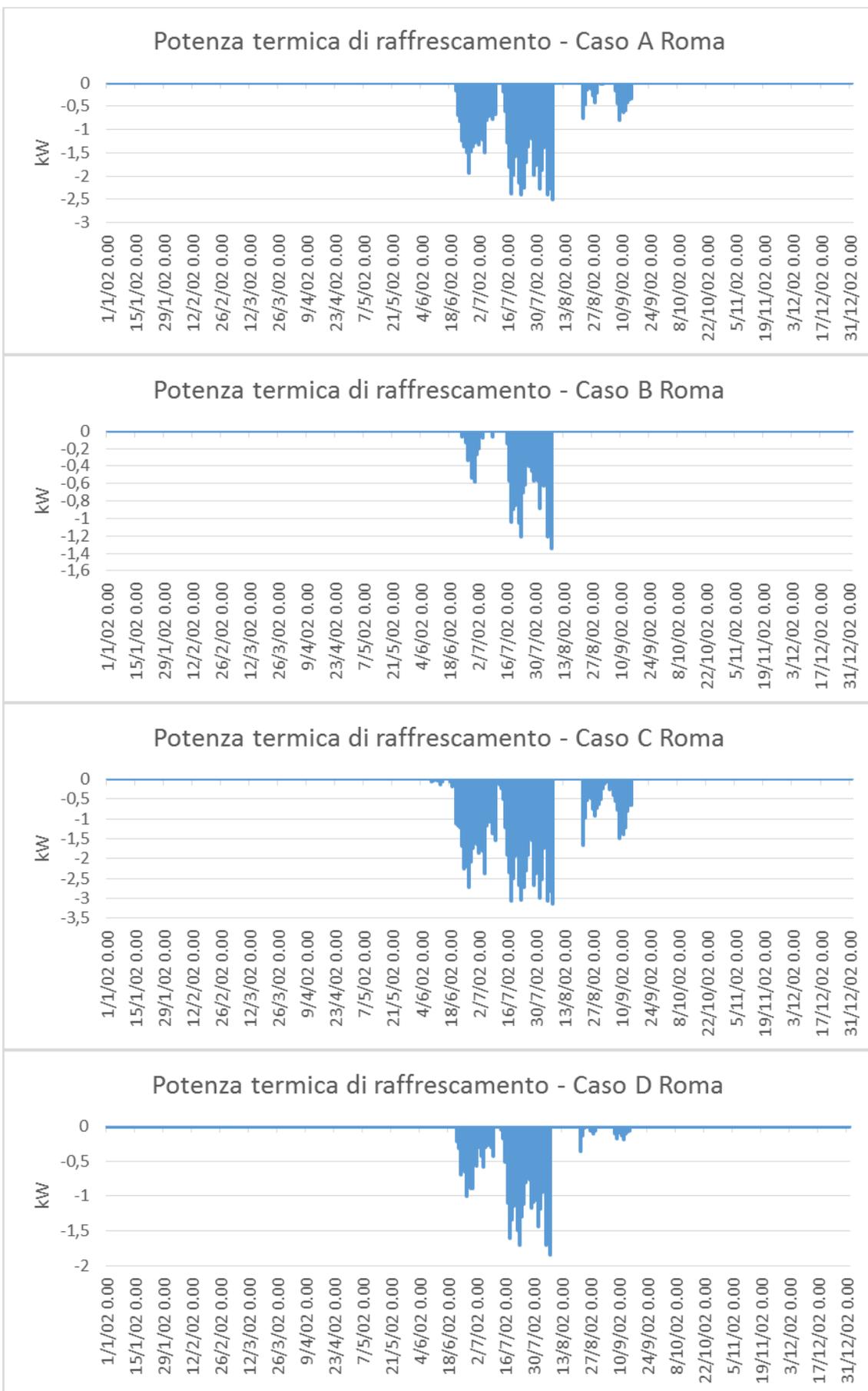
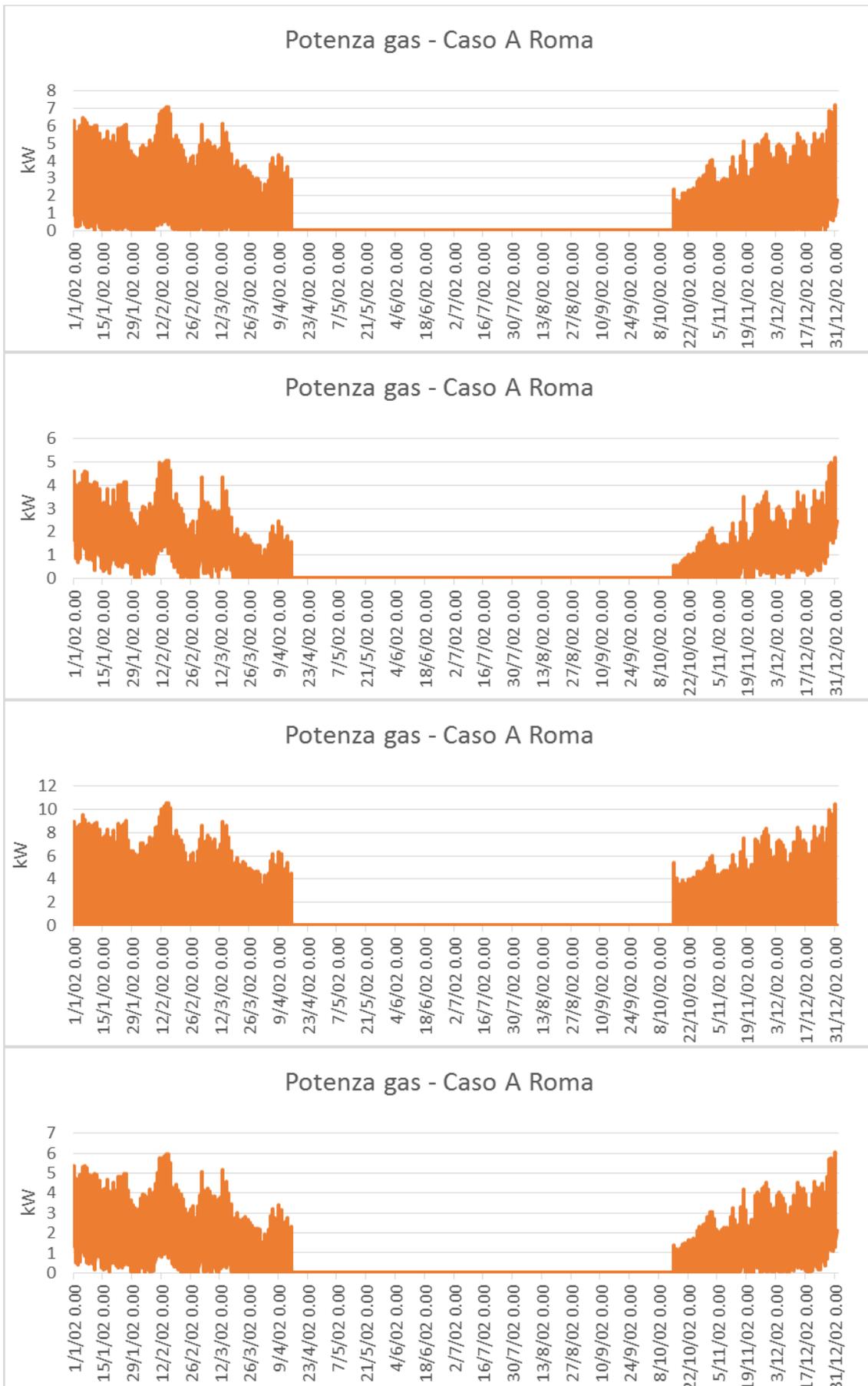


Figura 108. Risultati delle simulazioni della domanda di raffrescamento nei 4 scenari studiati



**Figura 109. Risultati delle simulazioni della domanda di gas naturale nei 4 scenari studiati**

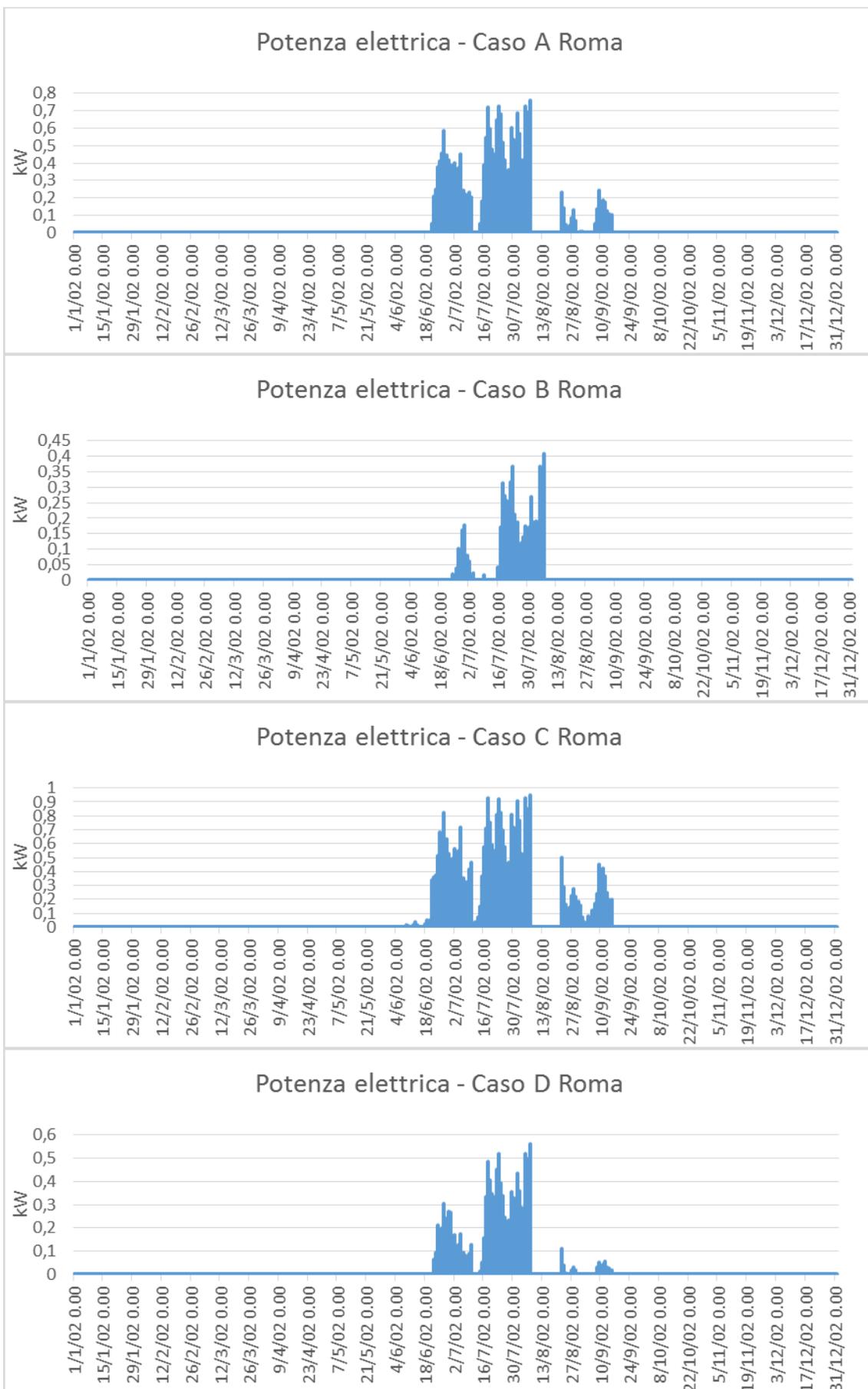
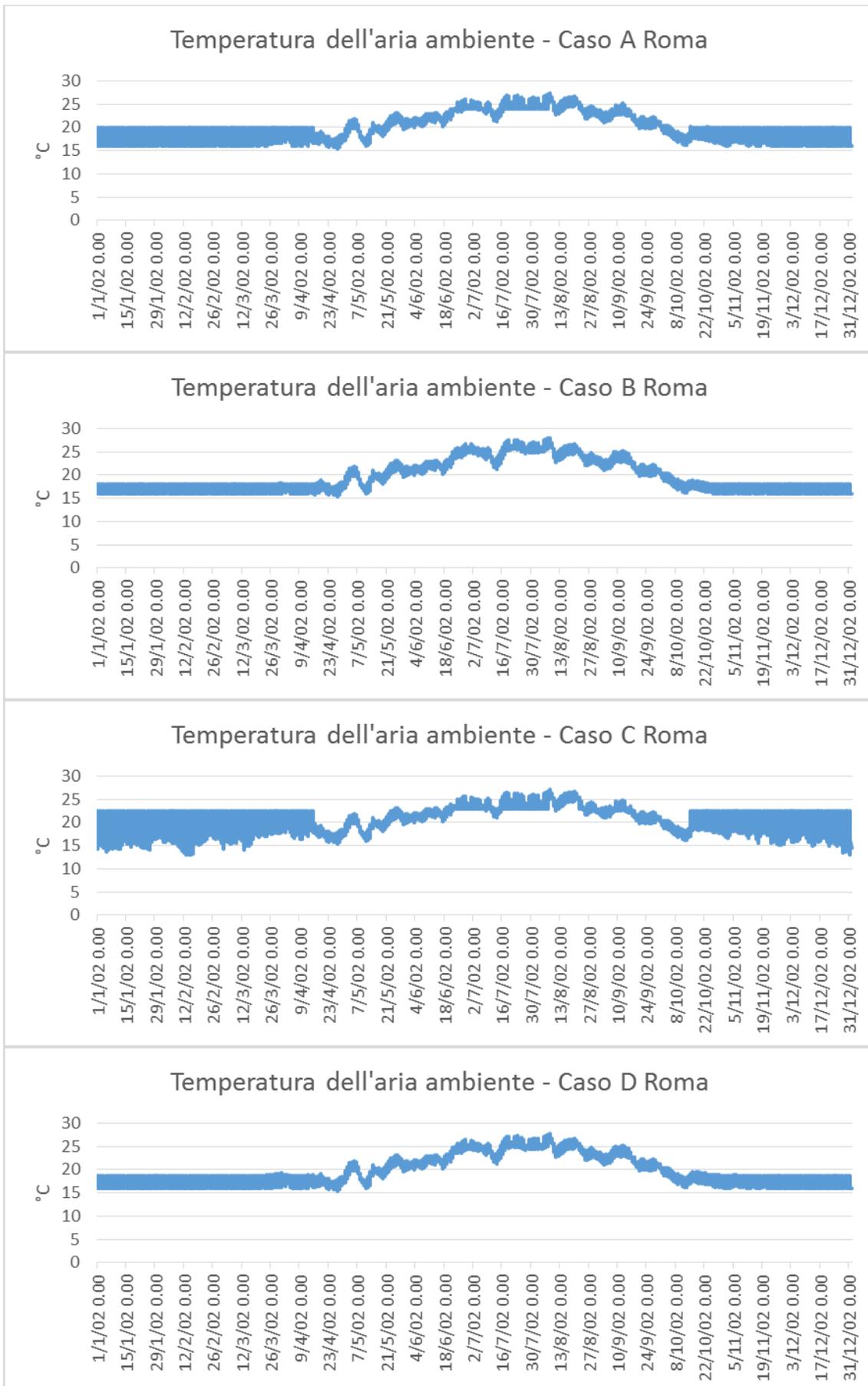


Figura 110. Risultati delle simulazioni della domanda di elettricità nei 4 scenari studiati



**Figura 111. Andamento della temperatura interna nei 4 scenari studiati**

#### 1.4 Definizione del data model di uno smart district

Ai fini dell'attuazione di politiche di demand response (DR) in ambito smart district è essenziale costruire un data model che sia strutturato su livelli. Questo permette di ottimizzare la gestione dei dati raccolti e lo scambio efficiente degli stessi fra i diversi agenti preposti al controllo, permettendo la scalabilità dell'architettura a distretti di dimensione diverse.

Nella presente annualità, in collaborazione con ENEA, è stata avviata la fase di progettazione dei possibili data model che possono essere impiegati per la gestione delle informazioni fra i diversi smart agent di controllo e di analisi dati. In particolare è possibile distinguere immediatamente lo smart agent di primo livello, che agisce a livello di appartamento (domotica), e gli smart agent di secondo livello che agiscono a livello di condominio, di quartiere, di distretto, di città e di aggregatore. Questi ultimi devono essere customizzabili aggiungendo o rimuovendo funzionalità in base al modello di demand response che si vuole implementare.

I modelli di DR più diffusi attualmente riportati in bibliografia ed utilizzati all'estero sono:

- DR basata su tariffe temporali
  - Tariffe legate all'orario di utilizzo;
  - Tariffe sul picco di consumo;
  - Tariffe a picco variabile;
  - Contrattazione in tempo reale e con aggregatore.
- DR basata sul "controllo diretto dei carichi" da parte dell'aggregatore a fronte di incentivi economici in bolletta.

Dallo studio preliminare sono stati definiti tutti i possibili dati, misure ad attuazioni che lo smart agent di primo livello, denominato semplicemente "energy-box", dovrà al massimo gestire:

- Set-point di temperatura per ciascuna zona termica;
- Temperatura e umidità per zona;
- Stato smart valve/sistema di immissione per zona;
- Presenze in appartamento e per zona;
- Luminosità delle zone e controllo serramenti;
- Apertura porte e finestre;
- Monitoraggio consumi elettrodomestici e loro scheduling;
- Monitoraggio e controllo fonti di energia rinnovabile (PV, collettore solare, etc...)
- SoC storage elettrico e monitoraggio storage termico;
- Energia termica richiesta da ciascuna zona termica;
- Monitoraggio fonti di energia primarie disponibili in abitazione
  - Gas consumato;
  - Energia elettrica da rete;

E' stato poi definito un numero minimo di informazioni "di base" che devono comunque essere gestite da tutti gli energy-box con dotazione di sensori ed attuatori minima per avere la possibilità di attuare politiche di DR:

- Temperatura e umidità per zona termica;
- Presenza e luminosità per zona;
- Apertura/chiusura porte e finestre;
- Contabilizzatore di energia elettrica primaria;
- Smart valve per zona;
- Smart Plug per elettrodomestici e utenze principali;

Queste informazioni coprono la maggior parte delle esigenze di monitoraggio energetico e di controllo in ambito domotico consentendo la messa in atto di strategie di DR e di demand side management (DSM).

Gli agenti di secondo livello avranno il compito di aggregare i dati provenienti dagli smart agent di primo livello e dalla rete per elaborare ulteriori informazioni utili ai fini DR e per la determinazione di KPI. Queste informazioni saranno condivise con gli altri agenti per ulteriori elaborazioni.

In particolare, gli agenti di secondo livello possono ricevere dagli energy-box le seguenti informazioni:

- Consumo orario di energia elettrica e gas;
- Scheduling dei consumi con un certo orizzonte temporale;
- Profilo orario di impegno in potenza previsto;
- Dati di flessibilità a modificare l'impegno in potenza orario previsto;
- Energia oraria autoprodotta da fonti rinnovabili.

Ed inviare agli energy-box informazioni come:

- Prezzi dell'energia nelle ore immediatamente successive;
- Nuovi setpoint di temperatura per il termostato;
- Proposte all'utente di un nuovo impegno in potenza in funzione della flessibilità storica.

Le quali potranno essere impiegate localmente per pianificare la flessibilità nelle ore immediatamente future.

L'agente di secondo livello ha quindi sia funzioni di controllo ad un livello più alto rispetto l'energy-box sia funzioni di calcolo di parametri aggiuntivi che possono poi essere condivisi con tutti gli altri agenti sottostanti. L'agente di secondo livello non andrà mai quindi a controllare le singole zone climatiche, ma si occuperà di lavorare in un contesto aggregato a differenza invece degli energy-box che dovranno controllare ogni singola zona termica, lavorando più a basso livello.

## 2 Conclusioni

L'attività svolta in questa annualità dall'Università Politecnica delle Marche, in collaborazione con ENEA, è stata quella di sviluppare un simulatore della domanda di energia elettrica e termica in ambito residenziale che permetta, in futuro, di studiare e testare in simulazione strategie di gestione e controllo per il demand-response e il demand side management su un elevato numero di utenze. Tali strategie possono essere utili ad un potenziale aggregatore di alto livello che potrà andare ad attuare, successivamente, tali politiche presso i propri clienti finali.

Sono stati sviluppati due simulatori separati: il simulatore della domanda di energia elettrica sviluppato con un approccio puramente statistico ed il simulatore della domanda di energia termica sviluppato modellando delle tipologie caratteristiche di appartamento (casi d'uso) mediante Energy plus.

Lo strumento e la metodologia sviluppata si sono dimostrate molto valide nel rappresentare il carattere aleatorio dell'andamento della domanda di energia elettrica ed il carattere più deterministico della domanda di energia termica. Inoltre, lo strumento risulta essere abbastanza flessibile ed in grado di poter testare, in futuro, logiche di demand-response su distretti residenziali.

Il simulatore di consumi elettrici aggregati è anche utile per definire potenziali KPI per i consumi di distretto. Questi KPI permetteranno di definire benchmark tra appartamenti utili per la valutazione di politiche di feed-back verso l'utente.

Il simulatore della domanda di energia termica è stato anche utilizzato per valutare differenti scenari di monitoraggio ed attuazione all'interno degli appartamenti. La simulazione ha dimostrato come tutte le misure intraprese vadano a ridurre i consumi finali dell'appartamento con un beneficio marginale tanto più alto quanto peggiore è la situazione di partenza che si intende andare a migliorare.

L'ultima attività di questa annualità è consistita nella progettazione dei possibili data model che possono essere impiegati per la gestione delle informazioni fra i diversi smart agent di controllo e di analisi dati. In particolare sono stati distinti lo smart agent di primo livello, che agisce a livello di appartamento (domotica), e gli smart agent di secondo livello che agiscono a livello di condominio, di quartiere, di distretto, di città e di aggregatore. Questi ultimi devono essere customizzabili aggiungendo o rimuovendo funzionalità in base al modello di demand response che si vuole implementare.

Il principale risultato dell'attività di questa annualità è stato quello di sviluppare uno strumento utile per la simulazione della domanda di energia elettrica e termica di distretti residenziali. Le potenzialità di questo strumento sono notevoli ma esiste ancora un margine di miglioramento.

L'attività futura potrebbe concentrarsi sia sul miglioramento dello strumento di simulazione, sia sul suo utilizzo per testare scenari di demand response. Infine, la simulazione di consumi aggregati, sia termici che elettrici, può essere utile per lo studio di sistemi di generazione distribuita all'interno di uno smart district (fotovoltaico, CHP, teleriscaldamento e/o teleraffrescamento), per un loro dimensionamento di massima e per la valutazione di potenziali benefici in termini di flessibilità, soprattutto in ottica demand-response e demand side management.

### 3 Riferimenti bibliografici

1. MICENE - Misure dei Consumi di Energia Elettrica in 110 abitazioni Italiane - Curve di carico dei principali elettrodomestici e degli apparecchi di illuminazione –Dipartimento di energetica di Milano Settembre 2004;
2. A. Capasso IEEE Senior Member, W. Grattieri , R. Lamedica , A. Prudenzi IEEE Member. A bottom-up approach to residential load modeling Maggio 1994;
3. A. Grandjean , J.Adnot , G.Binet. A review and ananalysis of the residential electric load curve models 2012;
4. A S. Sibilio, A. D’Agostino, M. Fatigati, M. Citterio. Valutazione dei consumi nell’edilizia esistente e benchmark mediante codici semplificati: analisi di edifici residenziali. Report RSE 2009;
5. Ana Soares, ÁlvaroGomes, CarlosHenggelerAntunes. Categorization of residential electricity consumption as a basis for the assessment of the impacts of demand response actions 2013;
6. Ian Richardson, Murray Thomson, David Infield, Conor Clifford. Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model 2010;
7. ISTAT. Viaggi e vacanze in italia e all'estero 2012;
8. Mustafa Cagri Sahin, Merih Aydinalp Koksals. Standby electricity consumption and saving potentials of Turkish households 2013;
9. Maria Gabriella Villani (ENEA). Inchiesta su caratteristiche e utilizzo degli elettrodomestici del freddo, del lavaggio e della cottura da parte degli utenti finali Report RSE 2011;
10. Jukka V. Paatero and Peter D. Lund. A model for generating household electricity load profiles 2006;
11. G.Comodi, A.Giantomassi, S.Longhi, F.Polonara. Progetto per l’integrazione in una rete di illuminazione pubblica avanzata di un sistema per la supervisione remota di una rete di edifici residenziali equipaggiati con una piattaforma di domotica energetica 2011;
12. Francesca Crescioli, Sistema Statistico nazionale Ufficio Comunale di Statistica. Indagine sulle vacanze della popolazione fiorentina 2013.
13. [www.istat.it/](http://www.istat.it/);
14. A. Gottfried, “Quaderni del manuale di progettazione edilizia - L’edilizia residenziale”, Hoepli, Milano, 2002;
15. Decreto ministeriale del Ministero della Sanità del 5 luglio 1975 “Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896, relativamente all’altezza minima ed ai requisiti igienico-sanitari principali dei locali di abitazione” pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.190 del 18 luglio 1975;
16. Decreto del Presidente della Repubblica del 16 aprile 2013, n. 74, “Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell’acqua calda per usi igienici sanitari, a norma dell’articolo 4, comma 1, lettere a) e c), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192”, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.149 del 27 giugno 2013.

## 4 Curriculum Vitae

### 4.1 Gabriele Comodi

Gabriele Comodi ha conseguito la laurea in ingegneria meccanica nel 2001 con la votazione di 110 e lode presso l'Università degli studi di Ancona (ora Politecnica delle Marche). Nel 2004 acquisisce il titolo di dottore di ricerca in "Energetica" presso il Dipartimento di Energetica (ora DIISM – Dipartimento di ingegneria industriale e scienze matematiche) dell'Università Politecnica delle Marche. In seguito, è stato titolare di 3 assegni di ricerca annuali e nel 2007 è diventato ricercatore presso il Dipartimento di Energetica dell'Università Politecnica delle Marche. Attualmente è ricercatore confermato presso il DIISM nel settore scientifico disciplinare "Sistemi per l'Energia e l'ambiente" (ING-IND/09).

I principali temi di ricerca sono: i) integrazione di sistemi di generazione distribuita (microturbine a gas, motori Stirling, motori a combustione interna, fuel cells, PV e CPV) in reti energetiche urbane; ii) efficienza energetica negli usi finali dell'energia; iii) demand side management di reti di edifici civili; iv) energy policy e programmazione energetica locale. E' autore di oltre 70 pubblicazioni a livello nazionale ed internazionale. E' titolare di un brevetto industriale. E' stato relatore/correlatore di oltre 90 tesi di laurea triennale e specialistica. E' attualmente supervisor di 4 candidati al titolo di dottore di ricerca.

E' membro del gruppo di lavoro "Urban Energy Network" del Joint Program EERA-"Smart Cities" ed è membro della Task Force "Simulation Tools" dello stesso Joint Program.

Dal 2015 è visiting assistant professor presso l'Energy Research Institute della Nanyang Technological University di Singapore.

### 4.2 Alessandro Fonti

Alessandro Fonti si è laureato con il massimo dei voti in Ingegneria Elettronica ad indirizzo "Controlli Automatici" presso l'Università Politecnica delle Marche. Nel 2016 ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in "Energetica" presso il Dipartimento di Ingegneria industriale e scienze matematiche dell'Università Politecnica delle Marche sotto la supervisione del Prof. Gabriele Comodi. Dal Dicembre 2015 è titolare di un assegno di ricerca sulle tematiche di simulazione di scenari di Demand Response.

Durante gli studi universitari ha avuto un breve esperienza nell'industria come analista per l'ottimizzazione dei processi produttivi nel settore "fashion". Completati gli studi universitari ha svolto uno stage presso la Gitronica S.p.a. del Gruppo Guzzini in qualità di progettista. I suoi campi di ricerca principali sono la modellazione ed il controllo di sistemi complessi per l'efficienza energetica e la demand response nel campo delle "smart cities" e degli "smart buildings" e l'analisi e l'ottimizzazione di processi produttivi industriali.