



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

## Controllo e gestione delle utenze domestiche in funzione dell'energia prodotta da fonti rinnovabili e dalla rete elettrica

Facoltà di Ingegneria dell'Informazione Informatica e Statistica  
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica e Automatica

Candidata  
Veronica Romano  
Matricola 1580844

Relatore  
Prof. Paolo Di Giamberardino

Anno Accademico 2018/2019

Tesi non ancora discussa

---

**Controllo e gestione delle utenze domestiche in funzione dell'energia prodotta  
da fonti rinnovabili e dalla rete elettrica**

Tesi di Laurea. Sapienza – Università di Roma

© 2019 Veronica Romano. Tutti i diritti riservati

Questa tesi è stata composta con L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X e la classe Sapthesis.

Email dell'autore: romano.1580844@studenti.uniroma1.it

## Sommario

Il seguente progetto consiste in una simulazione che, a partire da valori iniziali di accensione e spegnimento di alcune utenze domestiche, le controlla e le sposta nell'arco della singola giornata per ottimizzare l'utilizzo di energia. L'energia proviene dalla rete elettrica, da pannelli fotovoltaici e da turbine eoliche. Tramite opportuni controlli, viene verificato che in ogni istante della giornata l'energia necessaria alle utenze sia minore di quella prodotta; in caso contrario il programma si occupa di spostare temporalmente l'accensione delle utenze all'interno della giornata in base ad un ordine di priorità in modo da verificare la condizione iniziale. In questo modo si garantisce che ci sia sempre sufficiente energia per far funzionare le utenze; o comunque si ottiene un'ipotesi di come le utenze potrebbero essere gestite nelle 24 ore per poter utilizzare ogni utenza senza il rischio di eccedere la quantità di energia a disposizione.



# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1 Smart Grid</b>	<b>3</b>
1.1 Introduzione . . . . .	3
1.2 Nascita delle Smart Grid . . . . .	4
<b>2 Parametri del progetto</b>	<b>7</b>
2.1 Energia totale . . . . .	7
2.1.1 Energia di Rete . . . . .	7
2.1.2 Energia Solare . . . . .	8
2.1.3 Energia Eolica . . . . .	11
2.2 Energia necessaria . . . . .	13
2.2.1 Lavatrice . . . . .	15
2.2.2 Forno Elettrico . . . . .	15
2.2.3 Forno Microonde . . . . .	16
2.2.4 Frigorifero-Congelatore . . . . .	17
2.2.5 Lavastoviglie . . . . .	17
2.2.6 Impianto di Condizionamento o Riscaldamento . . . . .	18
2.2.7 Boiler Elettrico . . . . .	18
2.2.8 Televisore . . . . .	19
2.2.9 Impianto Stereo-DVD . . . . .	19
2.2.10 Computer . . . . .	20
2.2.11 Console . . . . .	21
2.2.12 Asciugacapelli . . . . .	21
2.2.13 Illuminazione . . . . .	22
2.2.14 Ricariche Cellulari . . . . .	23
<b>3 Implementazione del simulatore</b>	<b>25</b>
3.1 La realizzazione . . . . .	25
3.2 Parametri ed assunzioni . . . . .	25
3.3 Funzionamento dello script Matlab . . . . .	26
<b>4 Risultato della simulazione</b>	<b>29</b>
<b>5 Conclusioni</b>	<b>35</b>



# Introduzione

L'argomento di questa tesi consiste in una simulazione dell'utilizzo di utenze domestiche all'interno di un'abitazione familiare. Questo viene realizzato attraverso un programma che, in seguito ad una impostazione iniziale, controlla tutte le utenze e, nel caso in cui in un dato istante l'energia prodotta non fosse sufficiente, le sposta nell'arco della giornata in base ad un ordine di priorità. Dopo ogni iterazione viene ricontrollato che l'energia prodotta sia sufficiente, in caso contrario, il programma itera fino a che in ogni istante del giorno ciò sia verificato. La presente tesi è composta nel modo seguente: nel Capitolo 1 tratto un'introduzione al macro argomento del progetto, ossia quello delle Smart Grid. Nel Capitolo 2 descrivo i parametri utilizzati nel progetto e le assunzioni impiegate. Spiego inoltre le fonti energetiche e le utenze considerate nella realizzazione del progetto. Nel Capitolo 3 tratto il funzionamento del modello realizzato tramite software Simulink e tramite uno script Matlab. Nel Capitolo 4 invece illustro i risultati della simulazione e le conclusioni e le osservazioni a cui sono giunta. Conclusioni che vengono brevemente riassunte nel Capitolo 5.

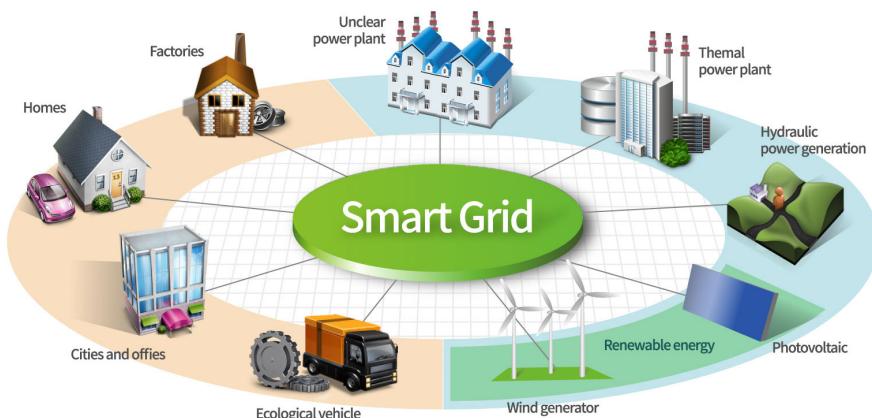


# Capitolo 1

## Smart Grid

### 1.1 Introduzione

Il progetto illustrato può essere collocato nell'ambito delle Smart Grid. Questo termine significa letteralmente "Rete Intelligente". Questa nuova tecnologia sta avendo un grande sviluppo e diffusione in moltissimi campi. Si tratta, in particolare, di un nuovo concetto di implementazione e gestione della rete di distribuzione dell'energia elettrica per accogliere le attuali esigenze di produzione, trasporto e consumo della stessa. Questo concetto identifica una rete che sia in grado di prendere decisioni in modo autonomo, efficace ed intelligente, non solo in termini di consumi ma anche economici. In ambito tecnico con il termine Smart Grid si identifica l'insieme di tecnologie ed innovazioni atte a migliorare e rendere più efficienti le attuali reti elettriche.



**Figura 1.1.** Esempio di Smart Grid.

La Figura 1.1 mostra come è costituita una Smart Grid. A destra sono rappresentate tutte le fonti energetiche disponibili: quelle rinnovabili solare ed eolica, e quelle prodotte dalle centrali. Sulla sinistra sono rappresentate le utenze che utilizzano tale energia.

## 1.2 Nascita delle Smart Grid

Fino a qualche tempo fa la rete elettrica era unidirezionale, cioè distribuiva energia da pochi produttori a molti consumatori. L'infrastruttura, che è complessa e costosa, incide in maniera significativa sul costo finale dell'energia; il flusso di energia viaggia in maniera unidirezionale, dal luogo di produzione a quello di consumo e, in tale contesto, l'utente finale costituisce solo ed esclusivamente un carico passivo della rete. Tale impostazione presenta molti svantaggi: 1) Elevate perdite per effetto Joule subite lungo la linea di collegamento dalle grosse centrali alle utenze; 2) Impossibilità di gestire in modo efficace i flussi di energia per convogliarla dove necessario a causa della mancanza di protocolli nella gestione dinamica dei flussi energetici; 3) Difficoltà nello sfruttare a pieno fonti di energia rinnovabile come eolico e fotovoltaico; 4) Tempi di risposta troppo lunghi in caso di black-out di grandi dimensioni, con impossibilità di arginare gli effetti valanga nelle cadute di tensione e conseguenti interruzioni di flusso energetico.

Una parte di questa energia è costituita dalle cosiddette fonti rinnovabili tra cui le più rilevanti sono quella eolica e quella solare. Tali fonti di energia risultano però incostanti e poco efficienti rispetto alle fonti non rinnovabili.

Per quanto riguarda le fonti eoliche, la loro efficienza è limitata da vincoli strutturali e dalla loro distribuzione geografica. Quest'ultima risulta essere non lineare in quanto le fonti eoliche su larga scala sono tipicamente distribuite a grande distanza dai carichi comportando limitazioni trasmissive di tipo termico, e soprattutto, problemi di instabilità.

Per quanto riguarda le fonti solari, esse si presentano come la più abbondante fonte di energia rinnovabile. L'energia solare totale che in un anno raggiunge la superficie terrestre è pari a circa 1000 volte il consumo mondiale di combustibile fossile in un anno. Le due prevalenti tecnologie che sfruttano l'energia solare sono la termica e la fotovoltaica. La causa della variabilità di tale fonte rinnovabile è dovuta alla disponibilità della luce solare. Come nel campo eolico, anche il campo solare presenta problemi di limitazione trasmissiva a causa della lontananza delle fonti dai carichi.

In definitiva, le fonti d'energia rinnovabile costituiscono un'importante risorsa energetica, ma il loro utilizzo richiede un'elasticità e una capacità d'adattamento a fattori di variabilità che le attuali reti elettriche non sono in grado di ottenere.

A causa di tutti questi motivi e della sempre maggiore richiesta da parte delle singole utenze, si è creata la necessità di trovare un modo più efficiente per la distribuzione dell'energia. Così è nato il concetto di Smart Grid, una rete che sia in grado di sostenersi autonomamente e che ottimizzi al meglio, da sola, la produzione e la distribuzione dell'energia. Con questo tipo di rete c'è la possibilità che ogni cliente diventi anche produttore, attraverso, ad esempio, l'installazione di pannelli fotovoltaici nella propria abitazione o d'impianti di produzione da altre fonti rinnovabili come mostrato nella Figura 1.3. Ciò comporta la necessità di avere una rete bidirezionale cioè che possa trasportare, oltre all'energia proveniente dai grandi impianti (ad esempio una centrale termoelettrica, idroelettrica...), anche quella immessa in rete dai tanti piccoli produttori domestici che eccedono l'autoconsumo.

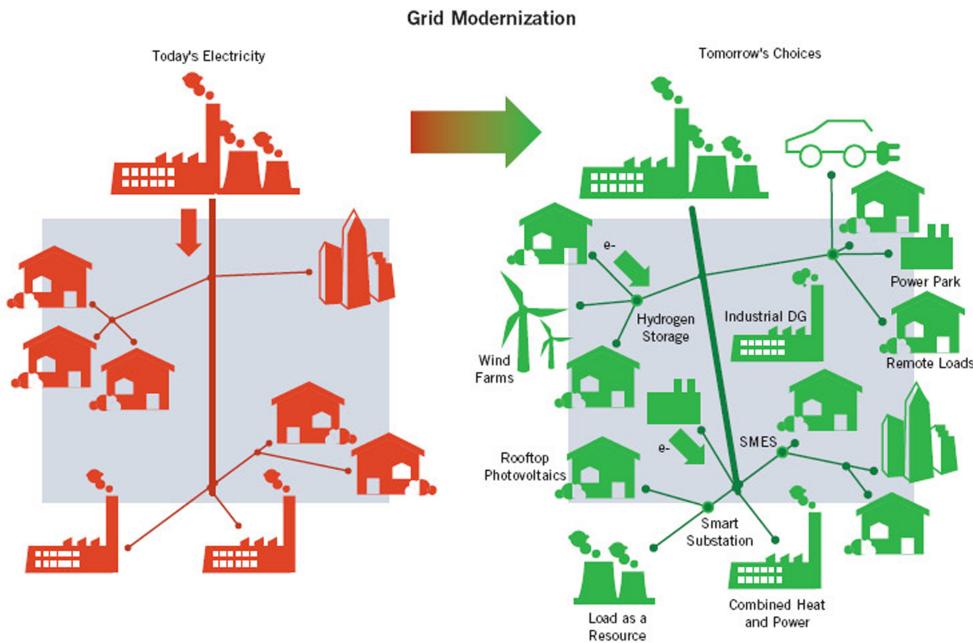
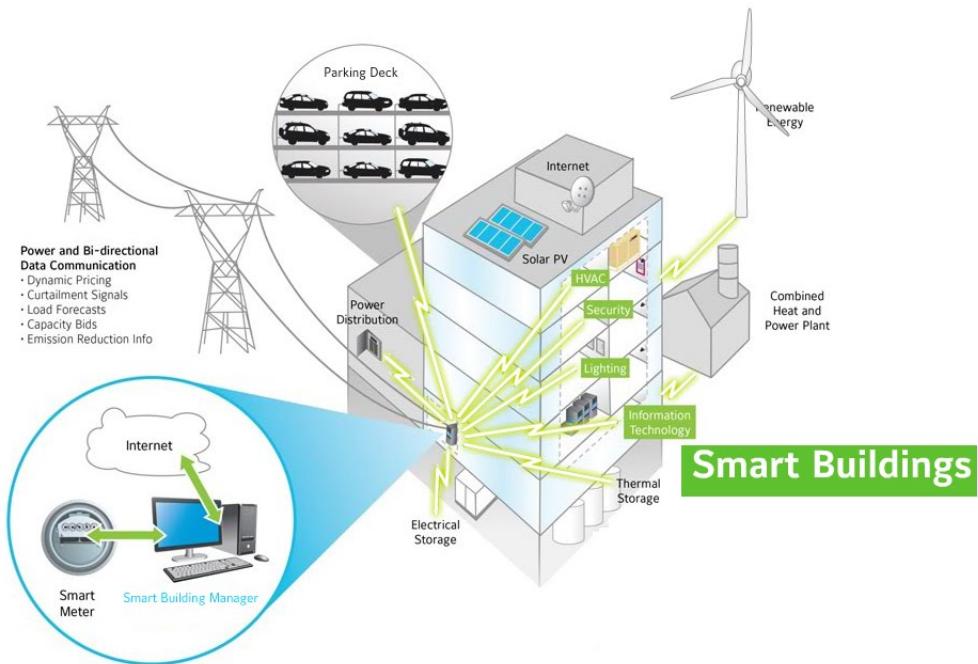


Fig. 1. The IEEE's version of the Smart Grid involves distributed generation, information networks, and system coordination, a drastic change from the existing utility configurations.

**Figura 1.2.** Rappresentazione di una rete unidirezionale e di una bidirezionale.



**Figura 1.3.** Rappresentazione di uno smart building con installazione di pannelli fotovoltaici e turbine eoliche, ed un accumulatore per l'energia prodotta che eccede l'autoconsumo.

La Figura 1.2 mette a confronto una rete unidirezionale con una rete bidirezionale.

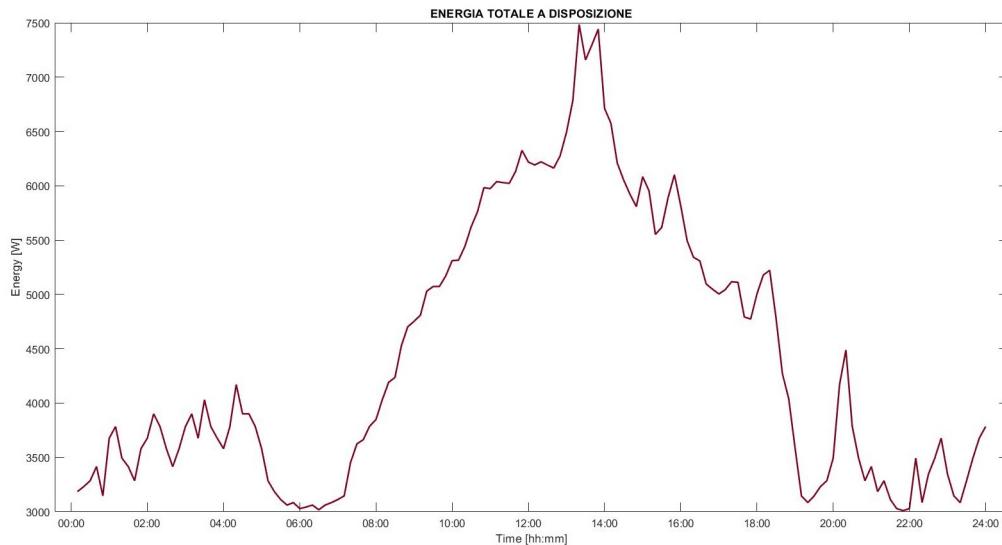


## Capitolo 2

# Parametri del progetto

### 2.1 Energia totale

L'energia totale come già detto è data dalla somma delle energie rinnovabili e di quella fornita dalle reti elettriche. Le Figura 2.1 mostra l'andamento dell'energia disponibile nell'arco della giornata avendo utilizzato per tutto il progetto un campionamento a 10 minuti.



**Figura 2.1.** Somma dell'energia di rete, dell'energia prodotta tramite impianto fotovoltaico, e tramite impianto eolico.

#### 2.1.1 Energia di Rete

Per quanto riguarda l'energia fornita dalla rete, ho considerato la distribuzione standard di energia per un'abitazione residenziale che corrisponde ad un'energia fornita di 3 kW e che risulta essere costante nell'arco di tutta la giornata.

### 2.1.2 Energia Solare

La tecnologia fotovoltaica si basa sulla conversione diretta dell'energia irradiata dal Sole, generata dalle reazioni di fusione nucleare che avvengono al suo interno, in energia elettrica. Questo processo prende il nome di effetto fotovoltaico. Nel modello, mi sono servita della seguente formula per calcolare l'energia prodotta attraverso un impianto fotovoltaico:

$$P = \eta I_o S \operatorname{sen}(\alpha) \quad (2.1)$$

La radiazione solare proveniente dal Sole, prima di arrivare sulla superficie della Terra, incontra un filtro naturale costituito dai differenti strati dell'atmosfera. Si definisce costante solare  $I_o$  la quantità di radiazione solare incidente la Terra per unità di tempo, su una superficie unitaria orientata in direzione ortogonale ai raggi solari e posta sull'area superiore dell'atmosfera terrestre. Il valore della costante solare è pari a  $1367 \text{ W/m}^2$ . Questo valore può variare di qualche punto percentuale in più in inverno e in meno in estate principalmente a causa della variazione della distanza della Terra dal Sole.

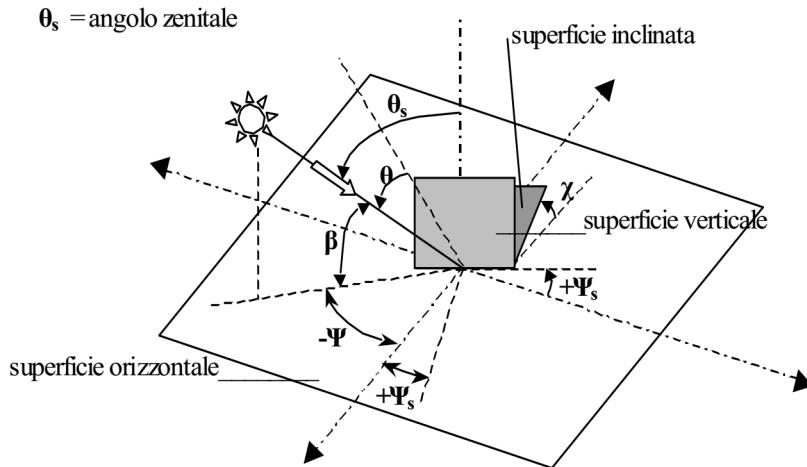
L'enorme quantità di energia solare che arriva sulla superficie esterna dell'atmosfera non raggiunge tutta la superficie terrestre, ma subisce fenomeni di attenuazione, riflessione, scattering nel percorso verso il suolo. In particolare durante la fase di attraversamento dell'atmosfera terrestre, una parte dei fotoni interagiscono con i gas che la compongono come idrogeno, vapore acqueo, anidride carbonica e ozono. La porzione di spettro di emissione solare che raggiunge la superficie terrestre, al netto dell'azione filtrante dell'atmosfera, è comunque variabile ed è influenzata dalle condizioni meteo, dall'altitudine, dalla posizione del sole nell'arco dell'anno e anche dall'inquinamento.

Poiché nell'impiantistica di progettazione il valore di massima radiazione al suolo viene assunto pari a  $1000 \text{ W/m}^2$ , anche nel modello ho assunto  $I_o = 1000 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ kW/m}^2$ . Questo valore è valido per condizioni meteo con cielo sereno ed una temperatura media di  $25^\circ\text{C}$ .

$\alpha$  è l'inclinazione del pannello rispetto alla radiazione. Questo parametro della formula cambia durante le ore di una giornata in relazione alla posizione del Sole nel cielo. Per calcolare  $\operatorname{sen}(\alpha)$  ho utilizzato la 2.2 facendo riferimento allo schema raffigurato in Figura 2.2.

$$\operatorname{sen}(\alpha) = \cos(\Theta) = \cos(\beta) \cos(\Psi - \Psi_s) \operatorname{sen}(\chi) + \operatorname{sen}(\beta) \cos(\chi) \quad (2.2)$$

$\Theta$  è l'angolo tra la normale alla superficie e i raggi solari quindi  $\operatorname{sen}(\alpha) = \operatorname{sen}(\frac{\pi}{2} - \Theta) = \cos(\Theta)$ .  $\Psi_s$  è l'angolo formato sul piano orizzontale tra la normale alla superficie e la direzione Nord-Sud. Tale angolo lo pongo uguale a zero imponendo che il pannello fotovoltaico sia orientato a Sud.  $\chi$  è l'inclinazione del pannello rispetto al suolo è lo impongo uguale a  $30^\circ$  in quanto per le latitudini italiane risulta essere l'inclinazione più efficiente.  $\beta$  e  $\Psi$  corrispondono rispettivamente ad altezza e azimut del Sole. I valori di altezza e azimut utilizzati per definire  $\operatorname{sen}(\alpha)$  li ho ricavati da internet prendendo come riferimento i valori per la città di Roma nella data del 21 Aprile 2019.



**Figura 2.2.** Schema dell'angolo di incidenza  $\Theta$  tra la normale alla superficie e i raggi solari.

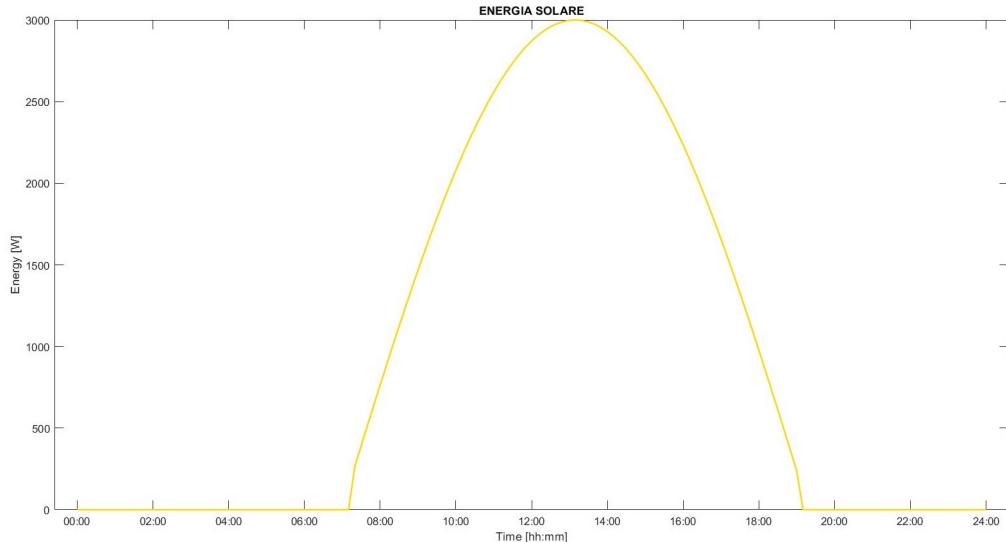
L'energia solare è una fonte rinnovabile, ha però degli aspetti negativi tra cui il fatto che prima di tutto non è costante nell'arco delle 24 ore ma varia a seconda della posizione del Sole, ed anche il fatto che i collettori moderni per la creazione di energia solare non sono ancora in grado di trasformare in energia utilizzabile tutta la radiazione solare captata. Viene perciò definito un rendimento  $\eta$  che cambia a seconda del tipo di collettore solare. Un pannello fotovoltaico è costituito da celle, che possono arrivare in numero fino a 96 sullo stesso pannello. Ognuna di queste, a seconda del tipo e del materiale che la costituisce, ha un proprio rendimento. Le celle possono essere in silicio monocristallino, in silicio policristallino o a film sottile.

Nella Tabella 2.1 sono riportati i diversi tipi di celle, con caratteristiche e rendimenti. Le celle in silicio monocristallino sono le più efficienti ma anche le più costose. Tuttavia è semplice notare che fino ad oggi il rendimento degli impianti fotovoltaici non è in grado di superare un rendimento di circa il 20%. Io ho considerato un rendimento massimo del 20%, considerando perciò celle che abbiano il massimo dell'efficienza, e che siano più affidabili.

L'ultimo parametro da analizzare è la superficie  $S$  del pannello fotovoltaico. Questa insieme al numero dei pannelli da installare va calcolata a seconda dell'energia che si vuole produrre. Nel mio progetto ho considerato una superficie nominale di  $1,5 \text{ m}^2$ . Tutto l'impianto è stato considerato costituito da 10 pannelli, per una superficie totale di  $15 \text{ m}^2$ .

	Silicio Monocristallino	Silicio Policristal- lino	Silicio Amorfo
<b>Rendimento cella</b>	14%-20%	12%-15%	5%-10%
<b>Vantaggi</b>	Rendimento elevato e stabile; tecnologia affidabile.	Minore costo e tecnologia affidabile.	Costi minori. Buon rendimento in presenza di basso irraggiamento e alte temperature. Possibilità di impiego su supporti flessibili.
<b>Svantaggi</b>	Costo Elevato.	Minore rendimento.	Elevata necessità di spazi a causa del basso rendimento.

**Tabella 2.1.** Relazione tra tipi di celle fotovoltaiche, rendimenti e caratteristiche.



**Figura 2.3.** Andamento energia solare nell'arco della giornata.

La Figura 2.3 mostra l'andamento dell'energia solare nell'arco della giornata con i parametri illustrati. Come si può notare l'energia solare è molto variabile tra il suo valore massimo equivalente al valore dell'energia solare quando il Sole è nel punto più alto e minimo equivalente alle ore notturne in cui la luce del Sole non è presente. In generale la curva ha un andamento simmetrico e parabolico. Con i parametri utilizzati, il valore raggiunto è di 3000 W. Ipotizzando un sistema di accumulo intelligente, tutta l'energia del picco che non viene usata in quell'istante, potrebbe essere accumulata e riutilizzata durante le ore notturne, per evitare così di utilizzare l'energia che viene fornita dalla rete e cercare di utilizzare solamente

l'energia proveniente dalla fonte rinnovabile. Si potrebbe aumentare l'efficienza dell'impianto utilizzando ad esempio dei pannelli fotovoltaici che invece di essere fissi siano mobili. In questo modo il pannello insegue la radiazione solare che così batte sul pannello sempre perpendicolarmente in qualunque istante della giornata, riuscendo ad acquisire la massima energia possibile.

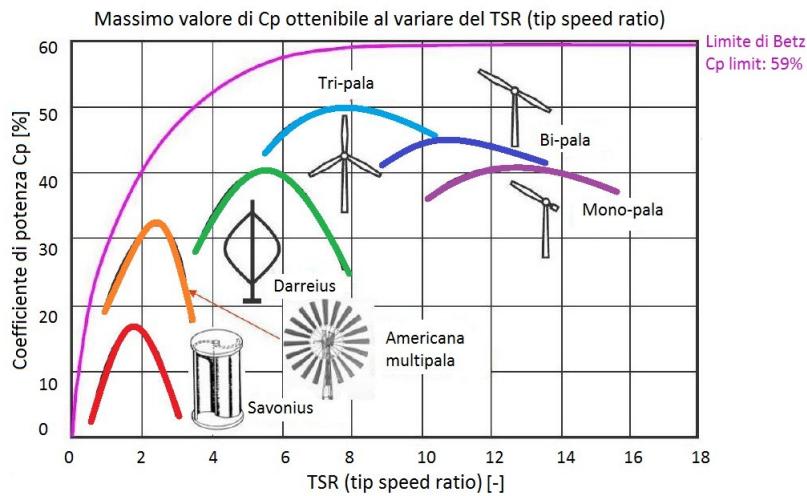
### 2.1.3 Energia Eolica

Una turbina eolica converte l'energia cinetica della massa d'aria in movimento ad una data velocità in energia meccanica di rotazione. Per la produzione di energia elettrica la macchina è dotata di un generatore elettrico ed è pertanto denominato aerogeneratore. La quantità di energia che il vento trasferisce al rotore dipende dalla densità dell'aria, dall'area del rotore e dalla velocità del vento. Nel modello ho considerato un sistema di turbine eoliche che sia già stato avviato, e questo mi ha permesso di semplificare appunto il modello. Tuttavia la turbina eolica ha una velocità di avvio equivalente alla velocità del vento alla quale il rotore e le pale cominciano a ruotare. Di solito, questa velocità non è rilevante ai fini della produzione di energia elettrica, la quale inizia alla cosiddetta "velocità di taglio inferiore", tuttavia in alcune piccole turbine in pratica le due velocità coincidono, e dunque le due diverse espressioni sono spesso usate un po' come sinonimi l'una dell'altra. Un buon aerogeneratore dovrebbe avere una velocità di avvio di circa 2,2 m/s, pari a una velocità del vento di 8 km/h. In pratica, una buona turbina dovrebbe mettersi a ruotare dolcemente e facilmente quando si cerca di metterla in moto con una mano, dopodiché dovrebbe rimanere in rotazione per alcuni secondi. Ovviamente, una bassa velocità di avvio è importante per aerogeneratori posti in aree con prevalenza di venti leggeri.

In generale, quando si parla della produzione di energia eolica, maggiore è l'energia cinetica che la turbina riesce ad estrarre dal vento, maggiore è la diminuzione di velocità del vento a valle della turbina. Una turbina eolica ideale rallenta il vento di un fattore  $\frac{2}{3}$  rispetto alla velocità a monte della turbina. Questo dato è il risultato della Legge di Betz. La legge individua l'efficienza massima teoricamente raggiungibile da un impianto eolico, dimostrando che una turbina può estrarre non più del 59,3% dell'energia cinetica contenuta in una massa d'aria. La formula utilizzata per calcolare l'energia ottenuta da una pala eolica è:

$$P = \frac{1}{2} \rho S v_i^3 C_p \quad (2.3)$$

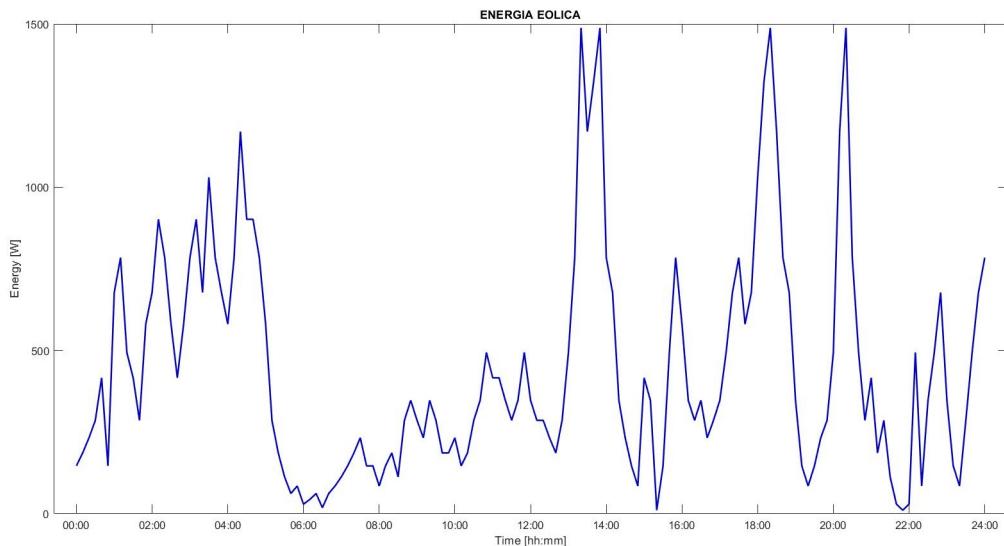
$\rho$  indica la densità dell'aria che è una costante ed è pari a  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ . La superficie  $S$  spazzata dal rotore viene calcolata direttamente nel modello utilizzando  $S = \frac{\pi D^2}{4}$ . Ho inserito la lunghezza del diametro del rotore, assunta pari a 10 m, ed ho calcolato l'area spazzata. Per quanto riguarda la velocità del vento mi sono servita del sito [www.ilmeteo.it](http://www.ilmeteo.it) che riporta varie registrazioni meteorologiche tra cui la velocità del vento, misurandola dall'Aeroporto Leonardo Da Vinci a Fiumicino. Poiché i dati non erano abbastanza, ho calcolato una media dei valori delle velocità di una giornata di Aprile, e rimanendo sempre intorno a quella media ho aggiunto i valori mancanti. Ho così campionato i valori a 10 minuti così come richiesto dal modello.



**Figura 2.4.** Modelli di turbine eoliche con rispettivi coefficienti di potenza  $C_p$ .

Importante è il coefficiente  $C_p$ . Come detto la Legge di Betz si occupa di trovare il valore massimo di questo coefficiente che oggi è di circa il 59%.  $C_p$  varia a seconda del tipo di turbina eolica utilizzata; per le turbine ad asse verticale ha un valore che oscilla a seconda della tipologia di turbina (da circa 0,15 per le Savonius a circa 0,4 per le Darrieus).

La Figura 2.4 è un grafico che mostra i coefficienti di diversi modelli di turbina eolica in funzione della velocità del vento. Inoltre mostra la loro relazione con il limite massimo di Betz  $C_p = 59\%$ , che non possono mai raggiungere. Il grafico considera tutti tipi di turbine ad asse verticale; il coefficiente per ognuna è individuato dalla rispettiva curva. Nel mio modello ho considerato un rendimento medio del  $C_p = 20\%$ . Il sistema eolico considerato nel progetto è costituito da 4 turbine.



**Figura 2.5.** Andamento energia eolica nell'arco della giornata.

In Figura 2.5 è riportato l'andamento dell'energia eolica prodotta nell'arco della giornata. Si può notare che la curva ha un andamento piuttosto uniforme intorno ad un valore medio.

## 2.2 Energia necessaria

Per stabilire le utenze ho eseguito varie ricerche sulle abitudini e gli usi delle famiglie italiane. Tuttavia per rendere il modello più versatile ho considerato che in una singola giornata vengano utilizzate tutte le utenze considerate.

Apparecchio	Ore di utilizzo h/anno	Potenza W	Consumo kWh/anno	Costo €/anno
<b>Televisione</b>	1.280 (4 ore al giorno)	150	190	35
<b>Phon</b>	160 (mezz'ora al giorno)	1800	290	53
<b>Lettore DVD</b>	140	150	20	4
<b>Lavatrice</b>	260 cicli/anno (5 kg di biancheria di cotone a 60°)	Classe A	240	44
<b>Lavastoviglie</b>	220 cicli/anno (12 coperti)	Classe A	220	40
<b>Frigo-congelatore</b>	8760	Classe A	305	56
<b>Condizionatore</b>	Fabbisogno freddo: 1300 kWh	COP: 3	425	78
<b>Forno Micronde</b>	160 (mezz'ora al giorno)	1500	240	44
<b>Forno elettrico</b>	52	2000	105	20
<b>Ferro da stiro</b>	160 (mezz'ora al giorno)	1000	160	30
<b>Aspirapolvere</b>	104	1800	185	35
<b>Computer</b>	640 (2 ore al giorno)	150	95	15
<b>Illuminazione</b>	4800 soggiorno, 3800 cucina, 1900 camere e bagno	Fluorescente: 12	150	30
<b>Totale</b>		<b>2625</b>	<b>483€</b>	

**Figura 2.6.** Consumo di energia elettrica degli elettrodomestici di uso comune considerando una famiglia di 3 persone che vive in una casa individuale di 100 m<sup>2</sup>. Per i calcoli è stata ipotizzata un'occupazione della casa di 320 giorni in un anno.

La Figura 2.6 riporta i consumi medi annui per una abitazione di 100 m<sup>2</sup> in cui vivono 3 persone. Partendo da questi dati trovati su internet e altri trovati sui maggiori siti di vendori di elettrodomestici, ho deciso, basandomi sulle abitudini della mia famiglia e della mia casa, di considerare un'abitazione in cui vivano 5 persone, rapportando di conseguenza anche i consumi giornalieri di ogni utenza.

Ho quindi definito, per ognuna di esse, un vettore di 144 elementi (campionamento a 10 minuti); ogni elemento è pari a 1 per indicare che l'utenza è accesa e 0 quando è spenta.

Nei paragrafi successivi descrivo le singole utenze, che sono riepilogate nella Tabella 2.2 rappresentante uno schema riassuntivo delle assunzioni fatte per ciascuna utenza, indicandone il tempo di utilizzo, la potenza nominale e la quantità.

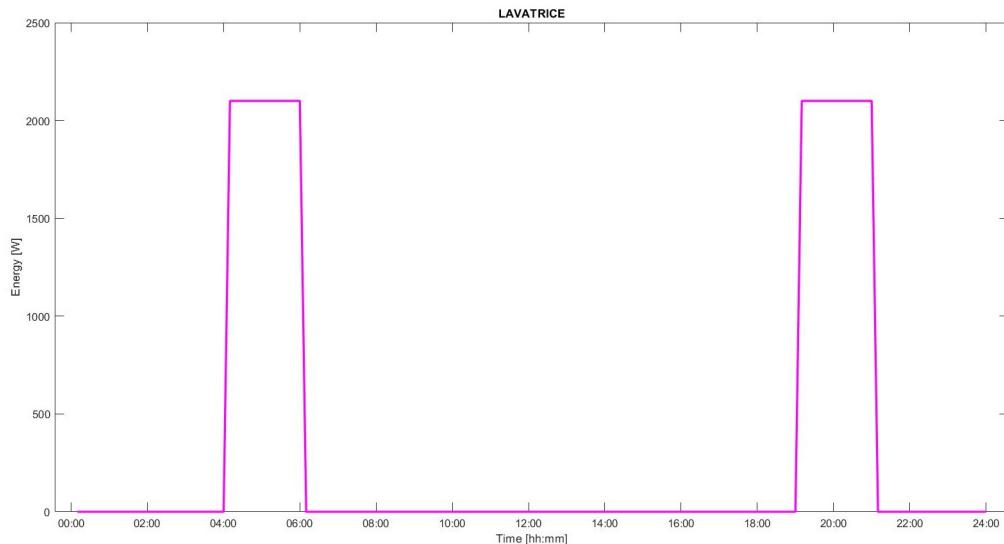
La Tabella 2.2

	Utilizzo	Potenza Nominale	Quantità
<b>Lavatrice</b>	Ore mattutine e serali per circa 4 ore	2100 W	1
<b>Forno Elettrico</b>	Ore dei pasti per circa 2 ore	1500 W	1
<b>Forno Microonde</b>	Ore dei pasti per non più di mezz'ora	800 W	1
<b>Frigorifero-Congelatore</b>	Accesso tutto il giorno	25 W	1
<b>Lavastoviglie</b>	Ore notturne per circa 3 ore	670 W	1
<b>Impianto di Condizionamento o Riscaldamento</b>	Ore più calde e più fredde della giornata per circa 2-3 ore	50 W	1
<b>Boiler Elettrico</b>	Ore mattutine e serali per non più di 90 minuti	1500 W	1
<b>Televisione</b>	Ore pomeridiane e serali per circa 9 ore	55 W	3
<b>Stereo-DVD</b>	Ore mattutine e serali per circa 6 ore	150 W	1
<b>Computer</b>	Ore pomeridiane e serali per circa 5 ore	150 W	3
<b>Console</b>	Ore pomeridiane e serali per circa 4 ore	250 W	1
<b>Asciugacapelli</b>	Durante la giornata per circa 1 ora	2000 W	1
<b> Illuminazione</b>	Ore mattutine, serali e notturne	5 W	8
<b>Ricariche Cellulari</b>	Ore notturne	3 W	5

Tabella 2.2. Tabella riassuntiva delle utenze.

### 2.2.1 Lavatrice

Ho concentrato l'utilizzo dell'utenza lavatrice nelle ore mattutine e serali perché l'energia elettrica nella fascia oraria compresa tra le 19:00 e le 8:00 è più economica.

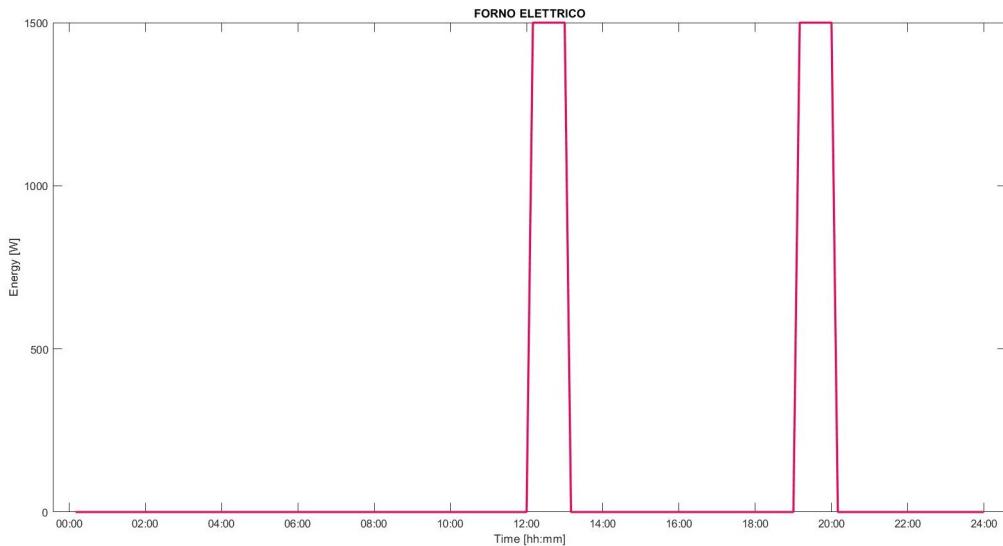


**Figura 2.7.** Utilizzo dell'utenza lavatrice.

In genere nelle abitazioni è presente solo una lavatrice. Queste, in base al loro consumo, sono classificate in classi energetiche. Io ho considerato una classe energetica A che va da un minimo di circa 1800 W ad un massimo di 2700 W. Per il modello ho considerato un valore intermedio di 2100 W e un utilizzo totale di circa quattro ore suddiviso su due periodi (vedi Figura 2.7).

### 2.2.2 Forno Elettrico

Il forno elettrico è un elettrodomestico, come anche il forno microonde, che viene usato principalmente nelle ore prossime ai pasti.

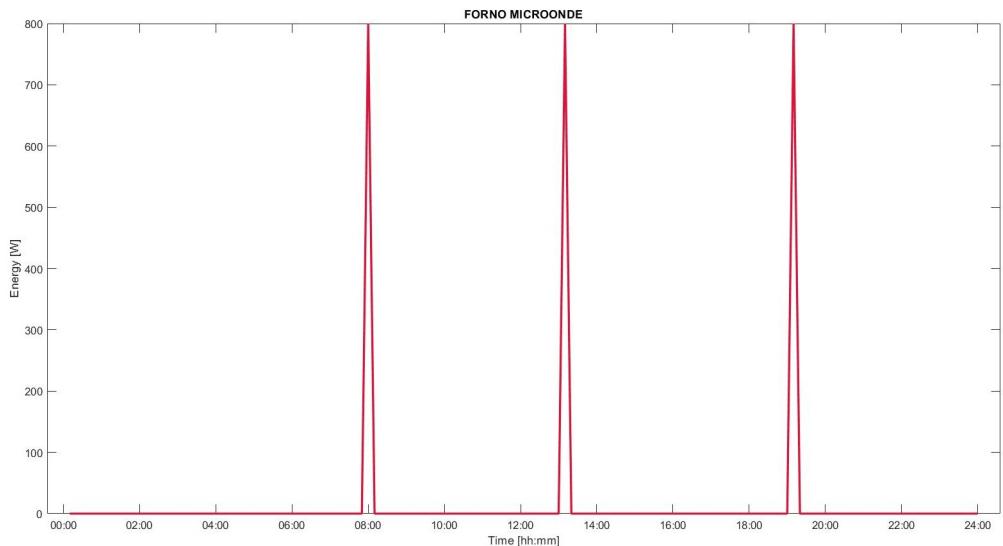


**Figura 2.8.** Utilizzo dell'utenza forno elettrico.

Osservando su internet i vari modelli di forno elettrico trovati ho scelto di considerare un consumo medio pari a 1500 W ed un utilizzo totale di circa due ore, suddiviso nei due pasti principali (vedi 2.8).

### 2.2.3 Forno Microonde

Il consumo medio è di circa 800 W, ma questa utenza non viene usata per tempo prolungato. Nel definire le accensioni dell'utenza ho difatti considerato un utilizzo totale non superiore a 30 minuti suddiviso nei tre pasti (vedi Figura 2.9).



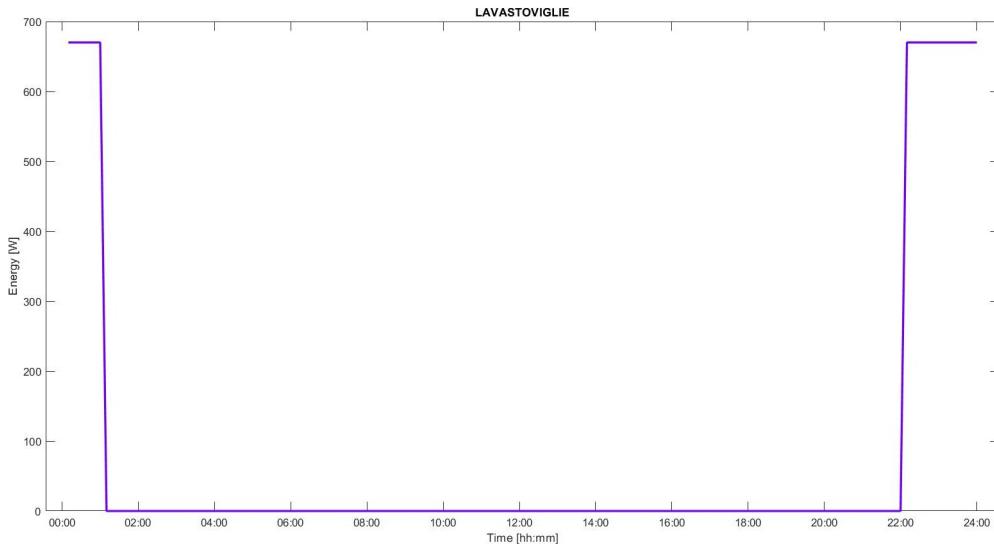
**Figura 2.9.** Utilizzo dell'utenza forno microonde.

### 2.2.4 Frigorifero-Congelatore

Il frigorifero, elettrodomestico che non può mancare all'interno di un'abitazione, è sempre acceso, quindi ha un consumo elettrico costante durante la giornata. Restando sempre acceso durante la giornata, ha un consumo di potenza davvero moderato; cercando sul web ne ho trovati svariati modelli di svariate classi energetiche. Ho considerato un consumo medio di 25 W.

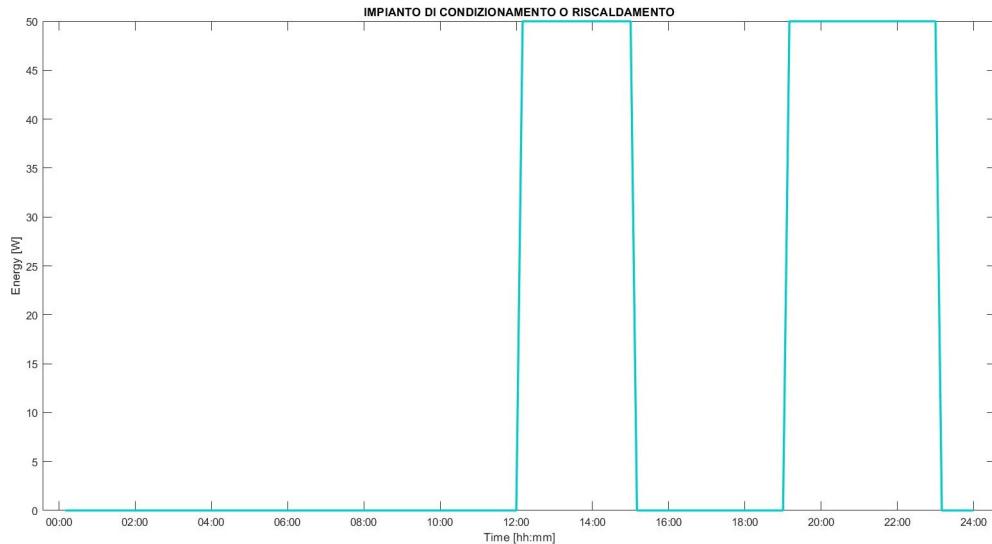
### 2.2.5 Lavastoviglie

Per l'utenza lavastoviglie ho considerato una classe energetica alta con una potenza pari a 670 W ed un utilizzo nelle ore notturne con un ciclo di tre ore (vedi Figura 2.10).



**Figura 2.10.** Utilizzo dell'utenza lavastoviglie.

### 2.2.6 Impianto di Condizionamento o Riscaldamento

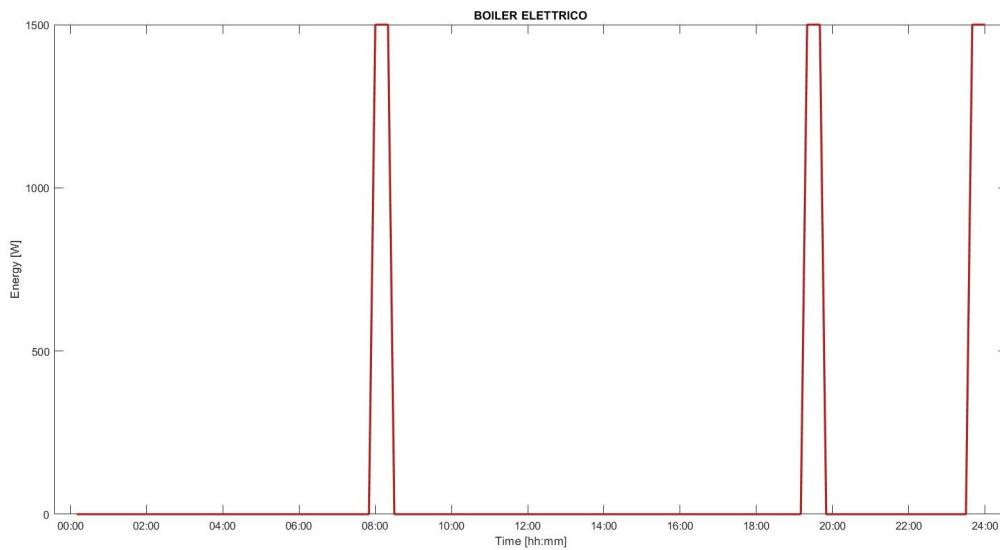


**Figura 2.11.** Utilizzo dell’utenza impianto di condizionamento o riscaldamento costituito da un solo dispositivo.

Nel progetto non viene considerata una distinzione stagionale, tuttavia ho dovuto definire degli istanti di utilizzo, che fossero anche prolungati. Questo elettrodomestico, come anche il forno ed altri, per funzionare bene deve restare acceso per un intervallo di tempo continuato. Ho ipotizzato un utilizzo nelle ore più calde della giornata per produrre aria fresca, e in quelle serali se dovesse servire per riscaldare l’ambiente. Il consumo medio che ho definito è pari a 50 W ed ho considerato l’utilizzo di un solo dispositivo (vedi Figura 2.11).

### 2.2.7 Boiler Elettrico

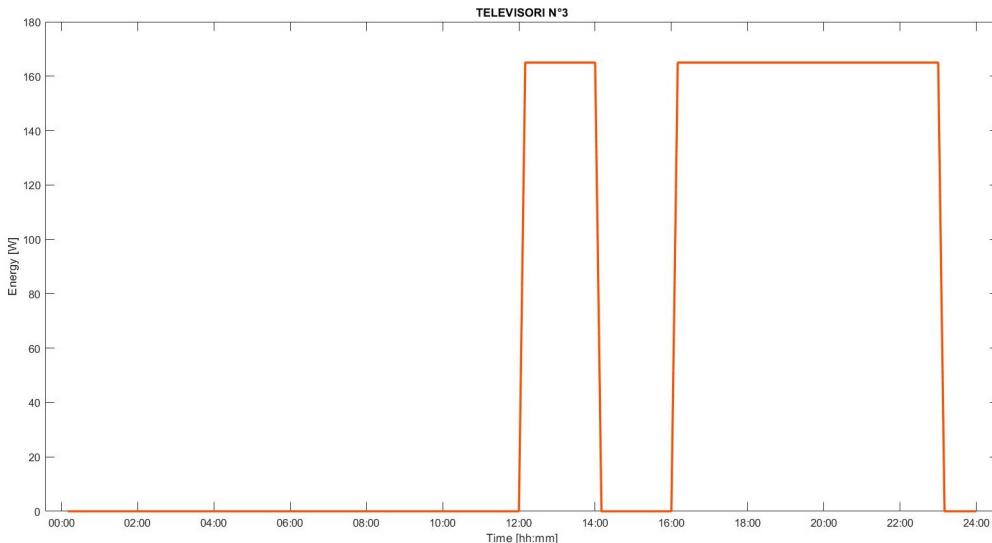
Ho considerato uno boiler elettrico per la produzione di acqua calda sanitaria con un consumo medio di 1500 W che viene utilizzato nelle ore mattutine e serali (vedi Figura 2.12).



**Figura 2.12.** Utilizzo dell’utenza boiler elettrico.

### 2.2.8 Televisore

Ho concentrato l’utilizzo dell’utenza televisore nelle ore pomeridiane e serali considerando un consumo di 55 W per dispositivo ed ipotizzando l’utilizzo contemporaneo di tre dispositivi (vedi Figura 2.13).

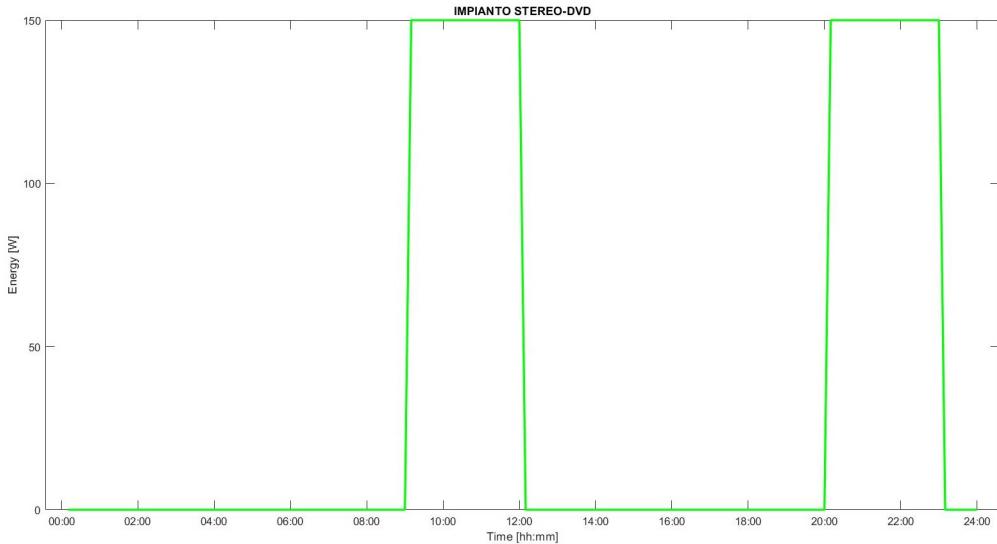


**Figura 2.13.** Utilizzo dell’utenza costituita da tre televisori contemporaneamente funzionanti.

### 2.2.9 Impianto Stereo-DVD

Questa utenza viene usata in contemporanea con l’utilizzo della tv se si usa il lettore DVD, perciò ho considerato i due diversi utilizzi, quello dello stereo e quello del

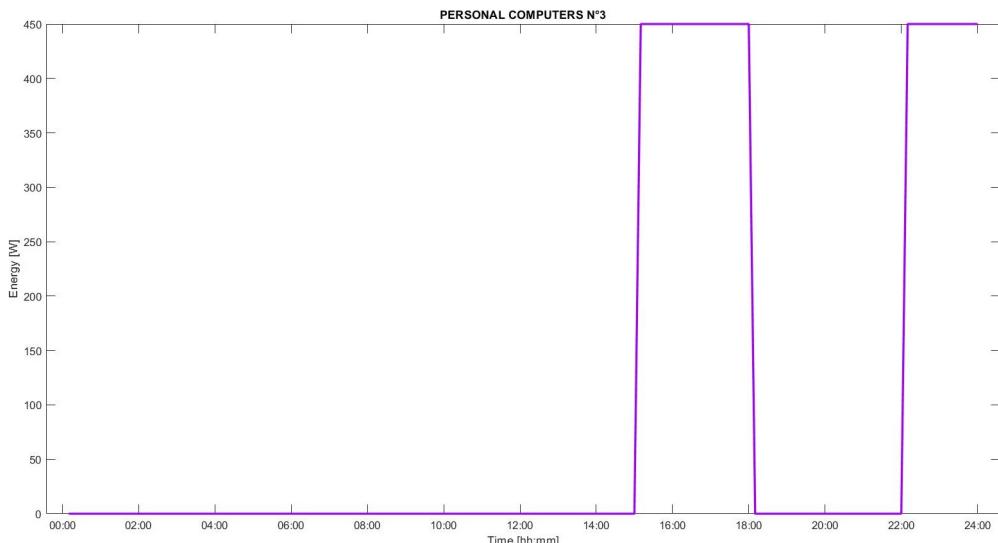
DVD, unificati nella stessa utenza, ma in momenti diversi della giornata. L'utilizzo dello stereo nelle ore della mattina, e quello del DVD nelle ore serali. Ho considerato un consumo medio di 150 W (vedi Figura 2.14).



**Figura 2.14.** Utilizzo dell'utenza impianto stereo-DVD.

### 2.2.10 Computer

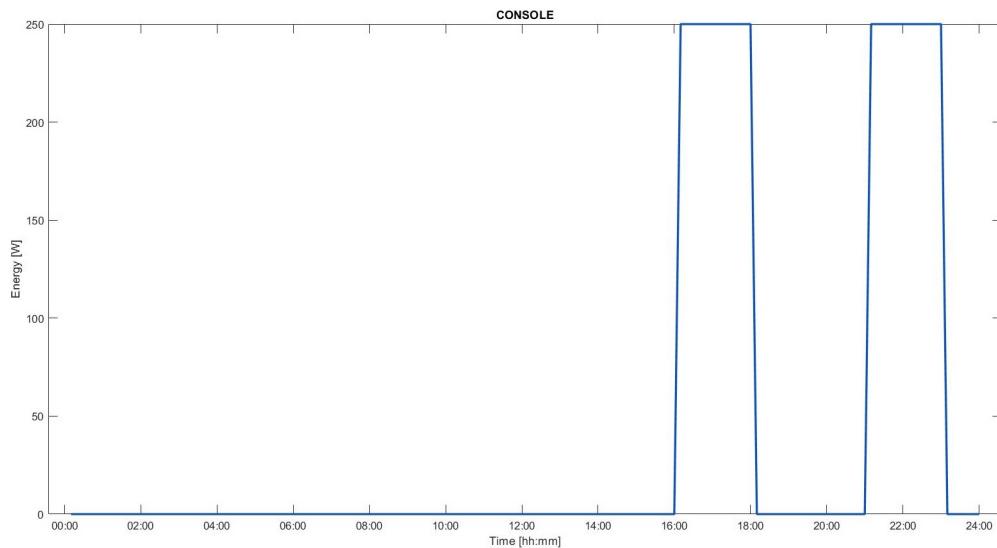
Oggi il computer è presente in quasi tutte le abitazioni perché è diventato uno strumento quasi determinante nelle nostre vite, sia per uso lavorativo che ludico. Nel progetto ho considerato l'utilizzo nel pomeriggio e la sera, ho inoltre considerato l'uso di 3 computer con un consumo individuale di 150 W (vedi Figura 2.15).



**Figura 2.15.** Utilizzo dell'utenza costituita da 3 computer contemporaneamente funzionanti.

### 2.2.11 Console

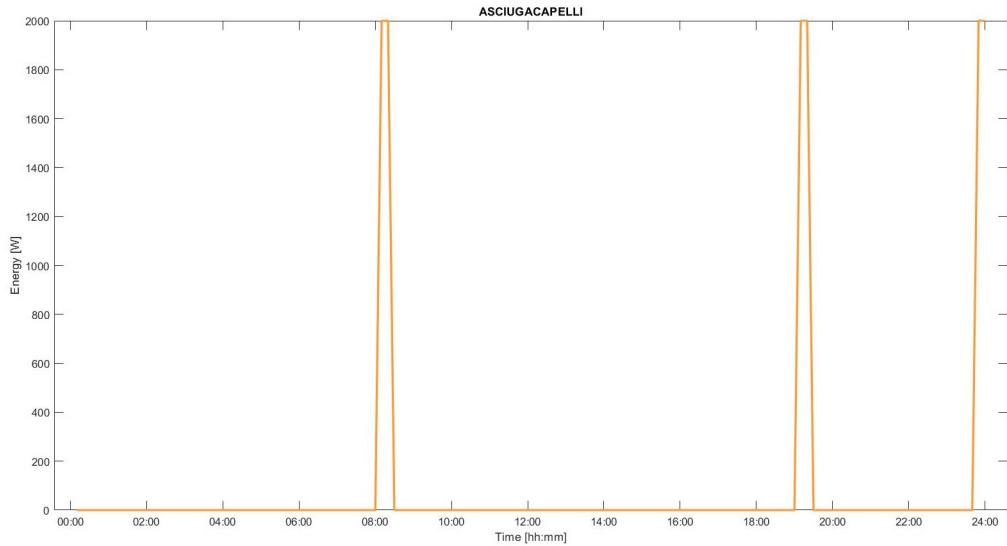
Quasi tutte le famiglie con bambini ne hanno almeno una dentro casa. Io non sono scesa nello specifico della console ma ho considerato un valore medio del consumo, considerandone gli avariati tipi che esistono, pari a 250 W. L'utilizzo di questa utenza l'ho concentrato nelle ore pomeridiane e serali (vedi Figura 2.16).



**Figura 2.16.** Utilizzo dell'utenza console.

### 2.2.12 Asciugacapelli

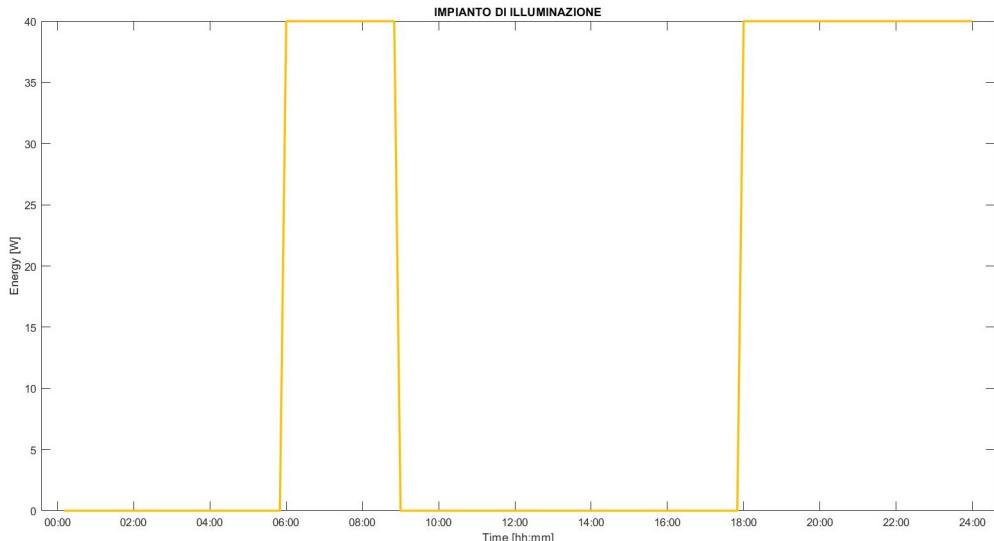
Questa utenza consuma parecchia energia elettrica ma di solito non si usa per un tempo prolungato. Ho considerato un consumo pari a 2000 W ed un utilizzo in intervalli non maggiori di 20 minuti (vedi Figura 2.17).



**Figura 2.17.** Utilizzo dell'utenza asciugacapelli.

### 2.2.13 Illuminazione

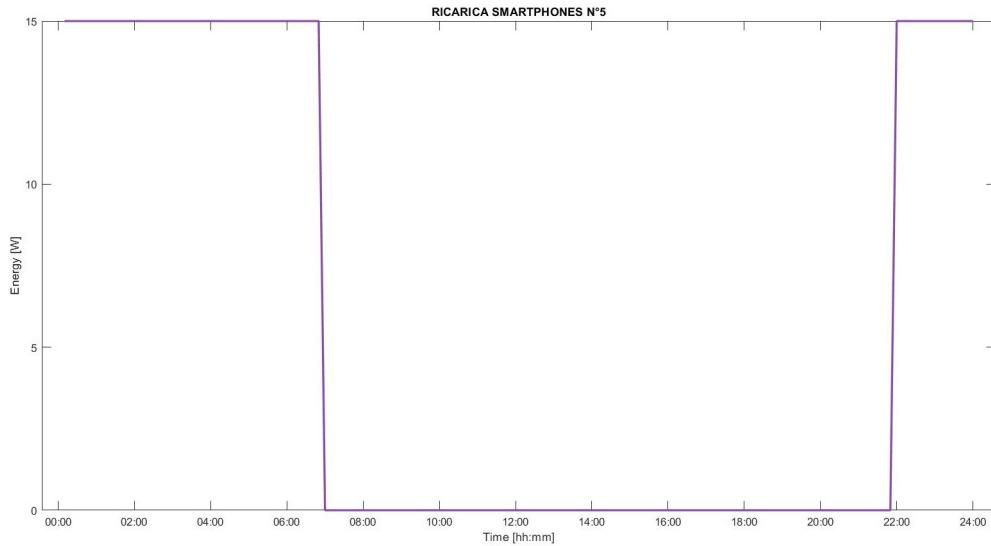
Per quanto riguarda l'illuminazione, questa è concentrata in particolare nelle ore serali o la mattina presto. Ho calcolato che in una casa ci siano circa 8 luci che potrebbero essere accese contemporaneamente in quella fascia oraria. Considerando lampadine a basso consumo, la potenza per ognuna è di 5 W (vedi Figura 2.18).



**Figura 2.18.** Utilizzo dell'utenza impianto di illuminazione condiderando 8 luci accese contemporaneamente.

### 2.2.14 Ricariche Cellulari

Ho concentrato l'utilizzo dei dispositivi di ricarica per cellulari nelle ore notturne. Ho considerato 5 smartphone, ognuno dei quali richiede una potenza pari a 3 W, considerando una media tra la potenza che serve per far ricaricare la batteria e la potenza che serve quando la batteria è ormai carica ma il telefono è ancora attaccato alla corrente (vedi Figura 2.19).



**Figura 2.19.** Utilizzo dell'utenza ricariche dei cellulari condiderando 5 smartphone contemporaneamente in ricarica.



## Capitolo 3

# Implementazione del simulatore

### 3.1 La realizzazione

Per realizzare il progetto ho usato i software MatLab e Simulink. Ho realizzato un modello *CUD\_10m.slx* in Simulink per creare uno schema che rappresentasse le equazioni per la produzione dell'energia eolica (Eq. 2.3), solare (Eq. 2.1), di rete, e l'energia necessaria per far funzionare le utenze, discusse nei capitoli precedenti. Questo modello in Simulink produce il grafico dell'energia totale a disposizione e dell'energia necessaria per il funzionamento delle utenze in ogni istante temporale. Attraverso uno script *controllo\_utenze\_domestiche.m* in MatLab ho definito le costanti e richiamato il modello attraverso la funzione *sim(model)*, in modo tale da ottenere i risultati della simulazione all'interno di MatLab. Ciò consente di per poterli analizzare ed elaborare per arrivare a creare quella che sarà la simulazione finale.

### 3.2 Parametri ed assunzioni

Ho scelto delle utenze domestiche di utilizzo comune all'interno di un'abitazione. Per effettuare le mie scelte sono partita da dati statistici trovati online, raccolti nella Figura 2.6. Partendo da questi dati, e dagli usi e abitudini della mia famiglia, considerando un'abitazione in cui vivessero 4-5 persone, ho scelto le utenze domestiche e valutato i consumi medi di ogni utenza. Oltre ai dati statistici, tramite internet ho valutato gli elettrodomestici venduti nei grandi store, per avere un'idea più realistica dei consumi. Ho inoltre considerato elettrodomestici di diversi livelli energetici come si potrebbero trovare all'interno di una comune abitazione, proprio per avere un modello più realistico. Considerando tutto ciò, ho proseguito stabilendo una configurazione iniziale delle utenze considerando intervalli di 10 minuti nell'arco di un'intera giornata, ottenendo così 144 campioni (campionamento a 10 minuti).

Ho quindi calcolato la produzione di energia totale dell'abitazione data dalla somma dell'energia fornita dalla rete elettrica con quella prodotta autonomamente attraverso fonti rinnovabili come il Sole e il vento, producendo energia solare tramite i collettori solari, ed energia eolica tramite le turbine eoliche. Anche la produzione di energia è stata campionata a 10 minuti.

Il modello si occupa di individuare i picchi di energia utilizzata quando l'energia totale prodotta non è sufficiente, ed attraverso uno slittamento all'interno delle 24 ore dell'utilizzo dell'utenza, trova la combinazione migliore, per fare in modo che l'energia necessaria non superi mai quella prodotta, e si mantenga al di sotto di una determinata soglia *soglia* per evitare che si arrivi al completo utilizzo dell'energia prodotta. Per ogni intervallo temporale  $t$ , il programma calcola l'energia prodotta e necessaria al tempo  $t+3$  (in quanto la simulazione è predittiva); se la necessaria supera quella prodotta, le utenze vengono slittate di tre istanti temporali in base ad una matrice di priorità. Dopo aver eseguito tutti i calcoli ed aver iterato un numero necessario di volte, il modello restituisce un grafico raffigurante l'energia prodotta (che ovviamente rimane invariata), la configurazione iniziale delle utenze per mostrare i picchi in cui è necessaria più energia, e la configurazione finale ottimizzata.

### 3.3 Funzionamento dello script Matlab

All'interno dello script *controllo\_utenze\_domestiche.m* ho definito le costanti e le grandezze necessarie, e tramite la funzione *sim(model)*, queste vengono elaborate dal modello Simulink. Viene quindi eseguita la prima simulazione ottenendo come output *outputs*. Questo è un elemento Matlab di tipo *Dataset*, contenente tre voci: l'energia prodotta, l'energia necessaria alle utenze e la differenza di queste due. Nella successiva elaborazione la differenza non viene considerata. Le altre due sono due matrici  $1 \times 1$  *double timeseries* costituite da due colonne, una contenente gli elementi Time ossia i campioni da 1 a 144, e l'altra contenente gli elementi Data ossia i valori dell'energia prodotta e delle utenze in ognuno dei 144 campioni. Ho successivamente preso i valori dell'*energia\_totale* e dell'*energia\_necessaria* e tramite la funzione *plot(X, Y)*, ho ottenuto il grafico delle due curve. Successivamente, tramite opportune operazioni ho separato i due campi Time e Data ottenendo sia per l'energia totale che per l'energia necessaria, due vettori necessari per la simulazione, rispettivamente *en\_tot* ed *en\_nec*.

Ho quindi definito una matrice *utenze* costituita da tutte le utenze; ognuna di esse è un vettore  $1 \times 144$ , ottenendo quindi una matrice  $14 \times 144$ , essendo *num\_utenze* = 14 il numero di utenze considerate. Ho poi definito una matrice *priorita* che ha *num\_utenze* righe e 2 colonne. La prima colonna contiene un contatore per ogni riga, inizialmente settato a 0. La seconda colonna contiene l'ordine di priorità dell'utenza relativa. Gli indici di riga più bassi corrispondono alle utenze meno prioritarie, aumentando l'indice aumenta anche la priorità dell'utenza. In pratica la seconda colonna contiene gli indici della posizione che ogni utenza ha all'interno della matrice *utenze*, in ordine di priorità. Inoltre le prime 10 utenze sono state definite in modo da aumentare la propria priorità ogni 3 volte che vengono slittate. Per cambiare la priorità vengono scalate di una riga verso il basso, tranne la decima riga. Questo perché le ultime quattro utenze sono fisse, in quanto corrispondono ad utenze che non avrebbe senso utilizzare in altri orari. Tali utenze sono il frigorifero, l'illuminazione, l'impianto di condizionamento o riscaldamento e il forno.

Dopo la simulazione iniziale ho definito un ciclo while per fare in modo che la simulazione non si interrompa dopo le prime 144 iterazioni di una giornata ma continui ad iterare fino ad ottenere il risultato desiderato. La condizione del ciclo

while, viene ottenuta facendo in modo che alla fine di ogni ciclo di 144 elementi, dopo aver apportato tutti gli spostamenti e le modifiche si ottengano nuovi risultati dei vettori  $en\_nec$  ed  $en\_tot$ . Viene quindi creato un vettore logico tramite la condizione  $en\_nec \leq (en\_tot - soglia)$ . Questo confronto produce un vettore  $1 \times 144 dd$ , di 0 (false) e 1 (true), poiché la condizione viene verificata per ogni valore dei vettori confrontati. Ho poi creato una variabile  $d$  che contiene il prodotto di tutti i valori del vettore  $dd$ . In questo modo, impostando inizialmente  $d==0$  come condizione del while, fino a che la condizione non è verificata in ognuno dei 144 istanti, il ciclo while viene ripetuto.

All'interno del ciclo while ho creato un ciclo  $for(1:144)$  con indice  $tt$ . Ho poi sottratto 3 all'indice del ciclo for, ottenendo l'indice  $t$ , per far valutare anche gli istanti 1 e 2 durante il controllo al tempo  $t+3$ . All'interno del ciclo for ho creato un altro ciclo while che verifica che nell'istante  $t+3$  sia verificata la condizione  $en\_nec(t+3) \geq (en\_tot(t+3) - soglia)$ . Se questa è verificata allora si entra nel while, dove troviamo un altro ciclo  $for(1:num\_utenze)$ . L'indice del for  $prio$  scorre la matrice *priorita*. Altra condizione che viene verificata è  $utenze(priorita(prio, 2), t+3) == 1$ , ossia viene controllato che all'istante  $t+3$  l'utenza sia accesa.

Da questo momento iniziano i controlli che riguardano 3 casi possibili; il primo si ha per  $if(prio < 10)$ , il secondo per  $if(prio == 10)$ , ed il terzo per  $if(prio > 10)$ . Iniziamo dall'ultimo caso che è il più semplice. In questo caso significa che l'indice della matrice *priorita* è arrivato agli indici delle utenze fisse, quindi semplicemente il programma non fa nulla e tramite *break*, lo forzo ad uscire dall'if.

Nel secondo caso quando  $prio == 10$ , significa che il programma sta analizzando l'ultima utenza che posso spostare prima di quelle fisse. In questo caso ho altri due controlli che vengono eseguiti sul contatore. Se il contatore corrispondente all'utenza è pari a 3, allora l'elemento contatore di quell'utenza viene azzerato e l'utenza slittata di tre istanti temporali. Se il contatore è minore di 3, allora l'utenza viene slittata di tre istanti temporali ed il contatore incrementato di 1.

L'ultimo caso si ha quando  $prio < 10$ . Ho sempre due ulteriori casi; nel caso in cui il contatore corrispondente all'utenza nell'indice considerato sia pari a 3, l'utenza viene slittata a tre istanti successivi, il contatore azzerato, e la riga della matrice *priorita* viene spostata di una riga verso il basso; nel caso in cui il contatore sia minore di 3, l'utenza viene sempre slittata di tre istanti temporali, e il contatore incrementato di uno. In ognuno degli ultimi due casi viene rieseguita la simulazione, separando le righe della nuova matrice *utenze* e riassociando i valori di ogni riga all'utenza corrispondente.

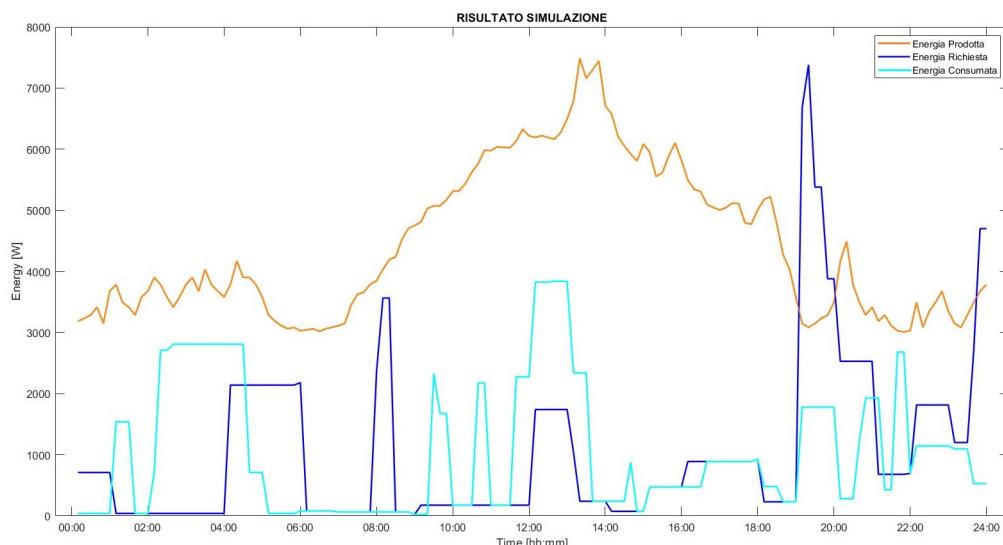
Ottenendo nuovi risultati per i vettori  $en\_nec$  ed  $en\_tot$ , viene rieseguito un controllo  $if(en\_nec(t+3) < (en\_tot(t+3) - soglia))$ ; se la condizione è falsa il sistema non è ottimizzato e quindi viene eseguita un'ulteriore iterazione. Se la condizione è vera significa che il sistema è ottimizzato e tramite il *break* forzo il programma ad uscire, facendomi restituire e graficare i valori ottimizzati.



## Capitolo 4

# Risultato della simulazione

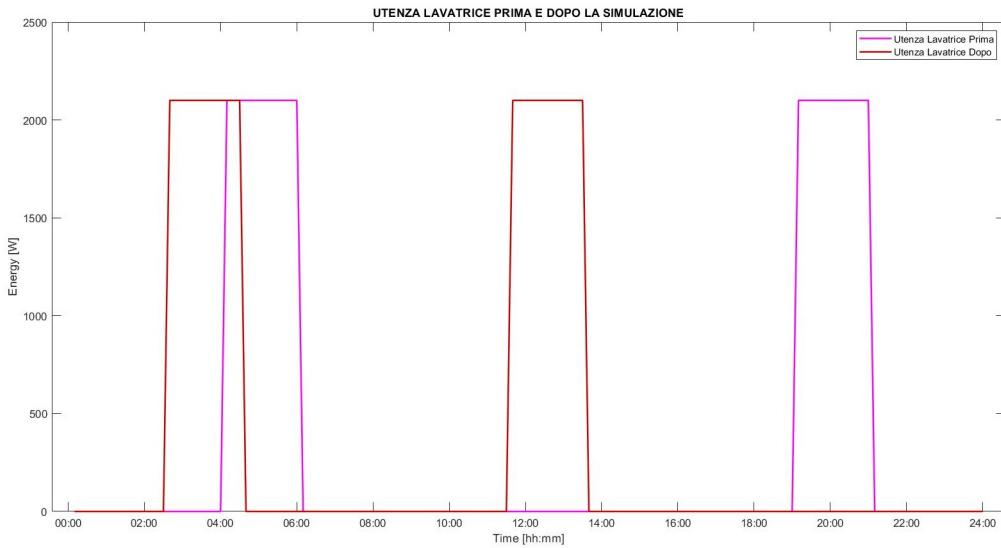
Il risultato finale della simulazione è riportato nella Figura 4.1.



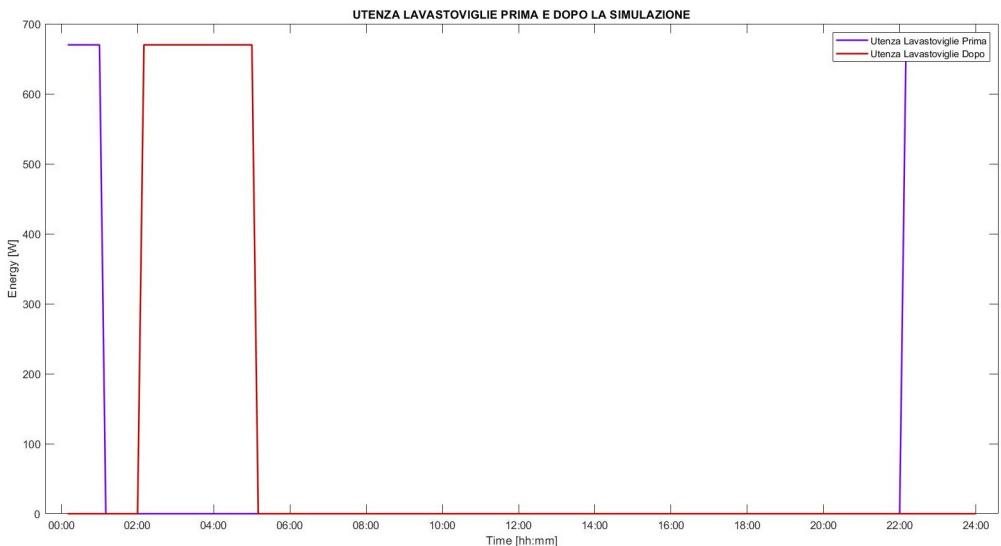
**Figura 4.1.** Risultato finale della simulazione considerando una soglia di 300 W.

Dalla simulazione iniziale, rappresentata in figura dall'Energia Richiesta, si possono notare due picchi di energia in cui l'energia prodotta è minore dell'energia richiesta. Tramite il programma sono riuscita ad ottenere che la curva dell'energia richiesta si trovi sempre al di sotto di quella dell'energia prodotta ottenendo la curva Energia Consumata. Il grafico riportato è relativo ad una soglia pari a 300 W. Con le costanti che ho definito e con la configurazione iniziale delle utenze, il sistema funziona fino ad una soglia pari anche a 1400 W. Sopra questa soglia il sistema non può essere ottimizzato. Essendo l'energia fornita dalla rete elettrica pari a 3000 W, questo implica che l'abitazione non può auto sostenersi esclusivamente tramite le fonti di energia rinnovabile.

Di seguito sono riportati i grafici delle utenze variabili del progetto. Ritengo che i risultati siano soddisfacenti in quanto le utenze non sono state variate di molto nell'arco della giornata, ma abbastanza da rendere la simulazione ottimale.

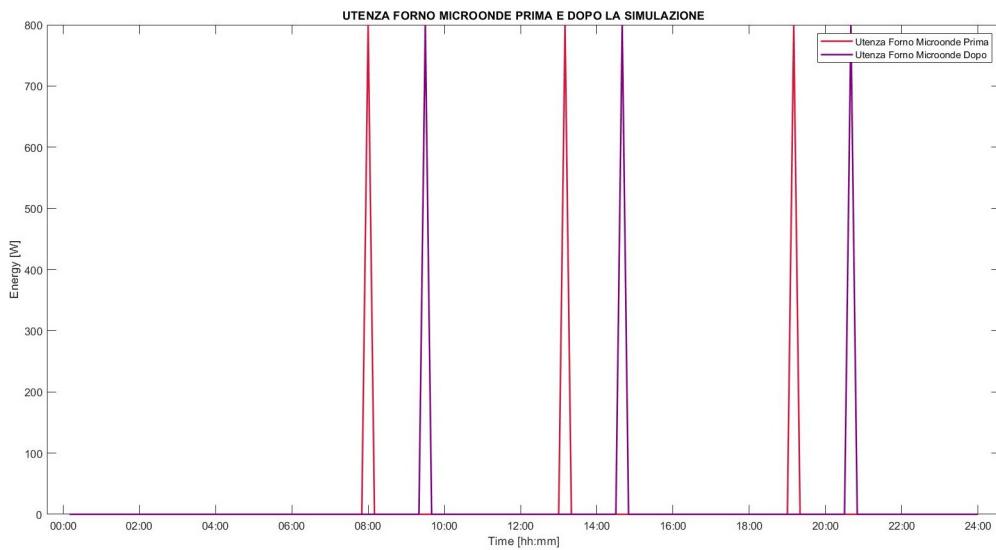


**Figura 4.2.** Utilizzo dell'utenza lavatrice prima e dopo la simulazione.



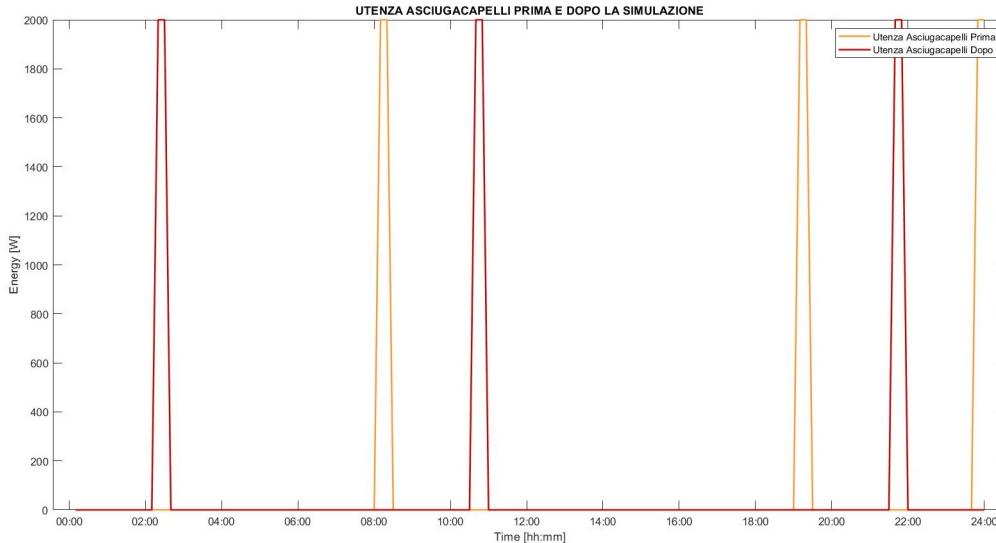
**Figura 4.3.** Utilizzo dell'utenza lavastoviglie prima e dopo la simulazione.

Le Figure 4.2 e 4.3 riportano gli utilizzi rispettivamente delle utenze lavatrice e lavastoviglie, prima e dopo la simulazione. Queste sono le utenze che hanno subito il maggiore spostamento nell'arco della giornata, perché dai parametri iniziali che ho stabilito, sono le prime utenze meno prioritarie, in quanto non richiedono una presenza umana per essere utilizzate.

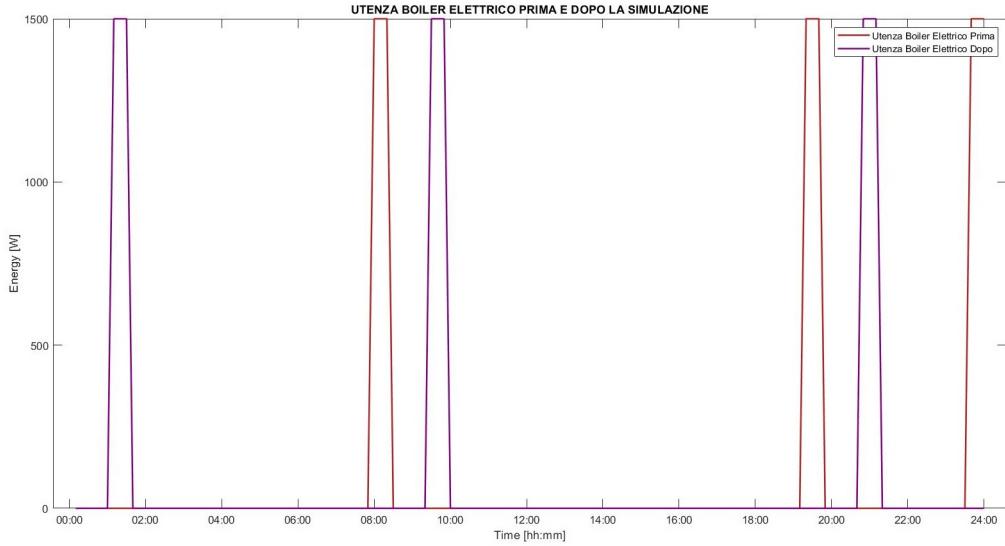


**Figura 4.4.** Utilizzo dell’utenza forno microonde prima e dopo la simulazione.

La figura 4.4 riporta l’utilizzo dell’utenza forno microonde prima e dopo la simulazione. Questa utenza è stata ritardata, rispetto ai parametri iniziali di circa un’ora.

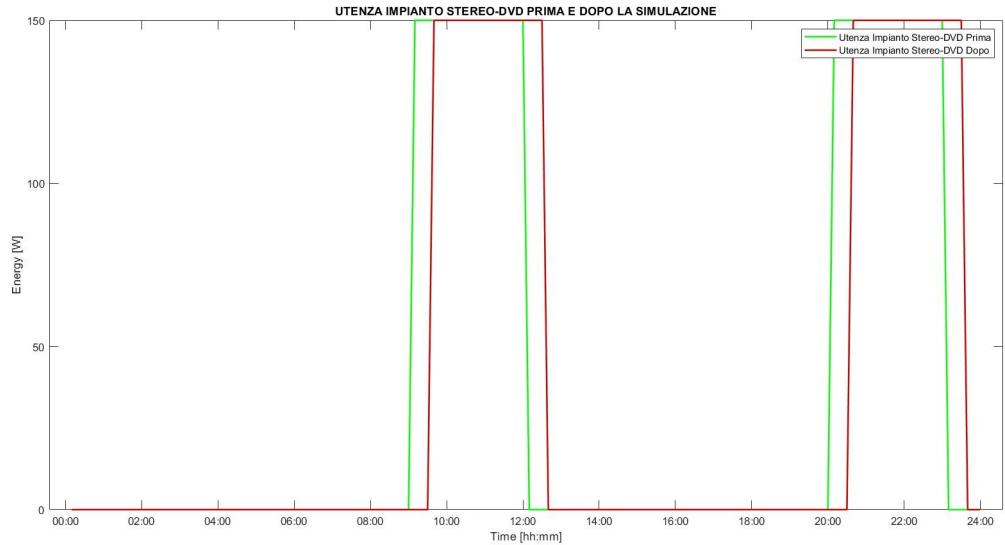


**Figura 4.5.** Utilizzo dell’utenza asciugacapelli prima e dopo la simulazione.



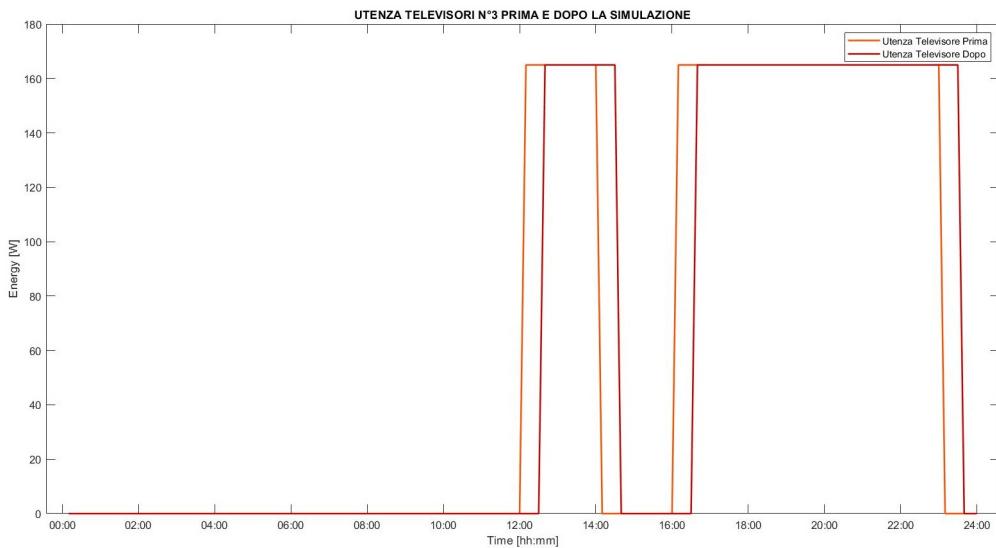
**Figura 4.6.** Utilizzo dell'utenza boiler elettrico prima e dopo la simulazione.

Le Figure 4.5 e 4.6 riportano l'utilizzo, rispettivamente delle utenze asciugacapelli e boiler elettrico. Inizialmente avevo impostato come valori iniziali, che venissero usate in istanti di tempo vicini, e nonostante siano state spostate nella giornata, hanno mantenuta la loro sequenzialità.



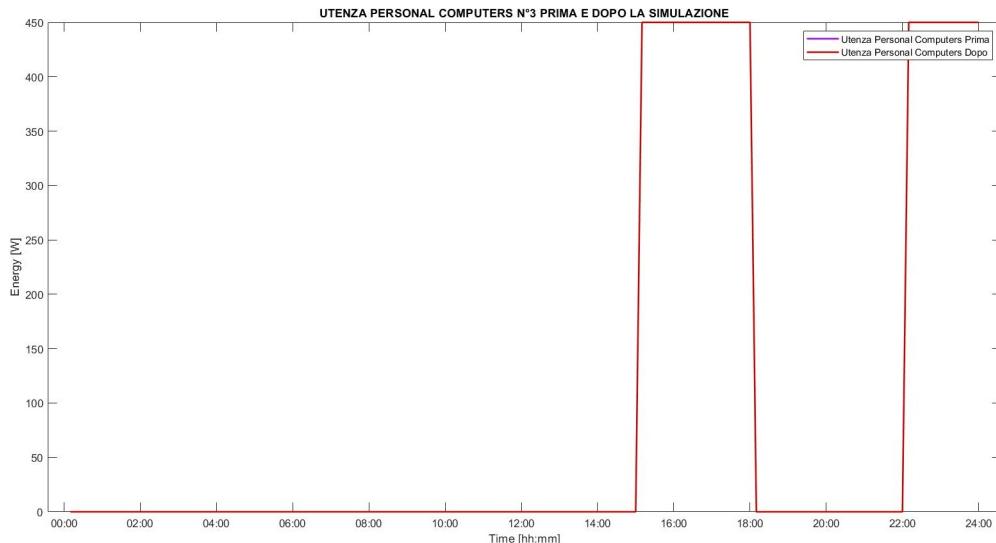
**Figura 4.7.** Utilizzo dell'utenza impianto stereo-DVD prima e dopo la simulazione.

La Figura 4.7 riporta l'utilizzo dell'utenza impianto stereo-DVD prima e dopo la simulazione. Anche questa utenza non ha subito grandi variazioni temporali nell'arco della giornata.



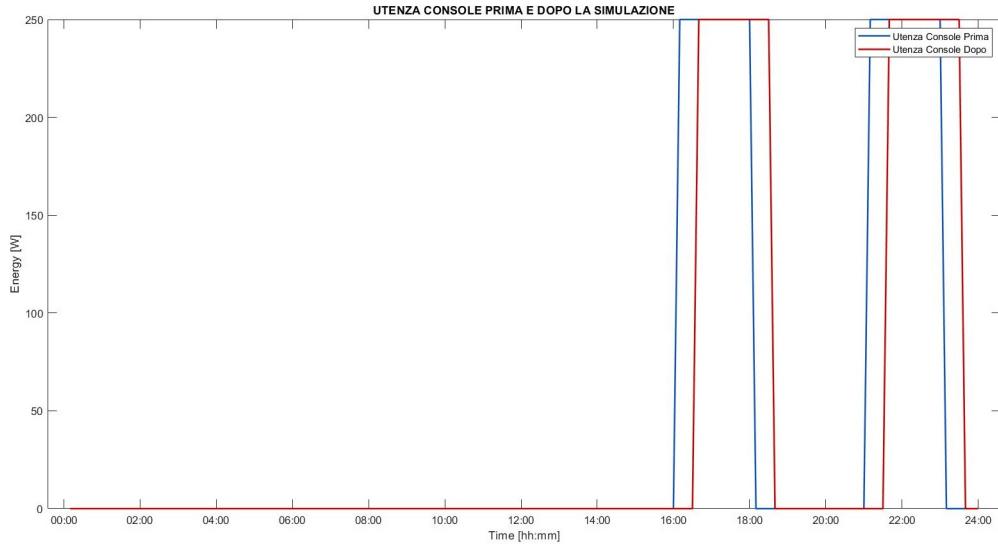
**Figura 4.8.** Utilizzo dell’utenza televisori n° 3 prima e dopo la simulazione.

La Figura 4.8 riporta l’utilizzo dell’utenza costituita da tre televisori prima e dopo la simulazione. Anche questa utenza non ha subito grandi variazioni.



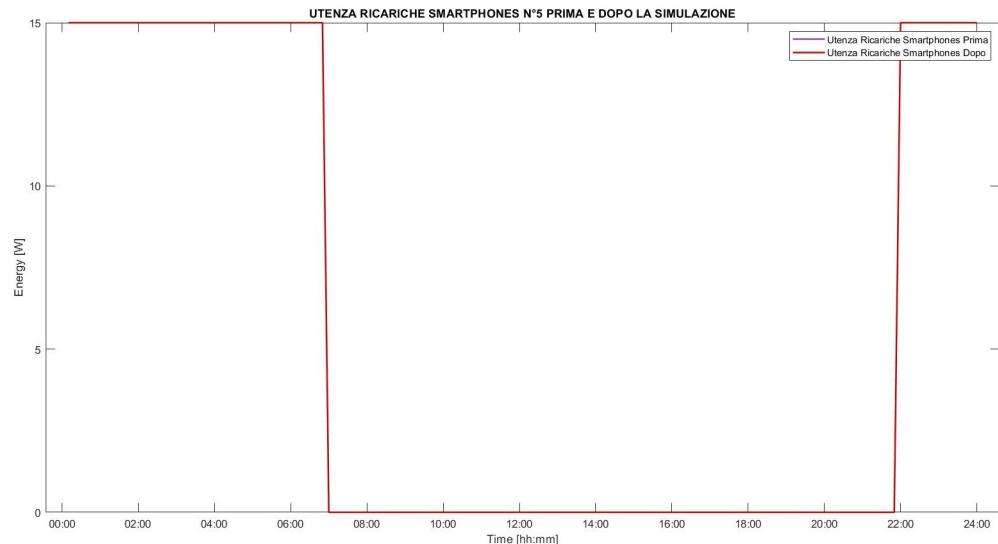
**Figura 4.9.** Utilizzo dell’utenza personal computers n° 3 prima e dopo la simulazione.

La Figura 4.9 rappresenta l’utilizzo dell’utenza costituita da tre personal computers prima e dopo la simulazione. Questa utenza non ha subito alcuna variazione rispetto alla configurazione iniziale.



**Figura 4.10.** Utilizzo dell’utenza console prima e dopo la simulazione.

La Figura 4.10 rappresenta l’utilizzo dell’utenza console prima e dopo la simulazione. Questa utenza non ha subito grandi variazioni all’interno della giornata rispetto alla configurazione iniziale.



**Figura 4.11.** Utilizzo dell’utenza ricariche smartphones n° 5 prima e dopo la simulazione.

La Figura 4.11 rappresenta l’utilizzo dell’utenza costituita da cinque smartphones prima e dopo la simulazione. Questa utenza non ha subito alcuna variazione rispetto alla configurazione iniziale.

# Capitolo 5

## Conclusioni

Partendo da una configurazione iniziale di utilizzo delle utenze domestiche, con l'utilizzo di un modello in Simulink ed uno script Matlab, ho fatto in modo che il sistema riesca, in base ad opportuni controlli, ad eliminare i picchi di energia in cui l'energia prodotta è inferiore a quella necessaria al funzionamento delle utenze. Per raggiungere questo scopo le utenze sono state slittate temporalmente, secondo opportuni criteri di priorità, all'interno della giornata, ottenendo una nuova configurazione degli utilizzi. Come descritto nel Capitolo 4, dove sono riportati i risultati grafici della simulazione, posso ritenere che la nuova configurazione degli utilizzi ottenuta sia soddisfacente in quanto le utenze con priorità più elevata non hanno subito uno slittamento temporale tale da pregiudicarne l'utilità.

