



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

Ottimizzazione della gestione dell'energia domestica in una smart grid

Optimising household energy management in a smart grid

Relatore: Chiar.mo
Prof. Massimo Conti

Tesi di Laurea di:
Martina Baldassarre

Anno Accademico 2020-2021



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

Ottimizzazione della gestione dell'energia domestica in una smart grid

Optimising household energy management in a smart grid

Relatore: Chiar.mo
Prof. Massimo Conti

Tesi di Laurea di:
Martina Baldassarre

Anno Accademico 2020-2021

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA
Via Brezze Bianche – 60131 Ancona (AN), Italy

Indice

Introduzione	1
1 Smart Grid	3
1.1 Aspetti generali della Smart Grid	3
1.2 V2G	5
1.3 Algoritmi di gestione Smart Grid	7
1.4 Dataset di consumo domestico	10
2 BMS	17
2.1 Aspetti generali del BMS	17
2.2 Algoritmi di ottimizzazione per la ricarica di batterie	19
2.3 Dataset di consumo di veicoli elettrici	21
3 Ambiente di Simulazione	25
3.1 Descrizione ambiente di lavoro	25
3.2 Tool alternativi	26
4 Realizzazione del modello Matlab	29
4.1 Componenti della Smart Grid sviluppata	29
4.1.1 Pannello fotovoltaico	29
4.1.2 Carico residenziale	30
4.1.3 BES(Battery energy storage)	31
4.1.4 BEV(Battery electric vehicle)	32
4.2 Implementazione codice	32
4.2.1 Aggiornamento SOC (SOC_update)	33
4.2.2 Algoritmo(Alg_BES)	34
4.2.3 Algoritmo BEV(Alg_BEV)	36
5 Simulazioni	39
5.1 Simulazione 1° gennaio	40
5.1.1 Grafici delle potenze e delle energie	41
5.2 Simulazione di dieci giorni:1/01/2016 - 10/01/2016	51
5.2.1 Grafici	52
5.3 Simulazione dataset di quartiere di 63 case	57
5.4 Simulazione dataset di un condominio di dieci case	59

Indice

5.5	Simulazione di dieci giorni per dieci singoli utenti	60
5.5.1	Simulazione delle singole dieci case sommate tra di loro . . .	67
6	Conclusioni	69
	Bibliografia	71

Elenco delle figure

1.1	Smart Grid [4]	5
1.2	Schema V2G: funzionamento dello scambio di energia tra il veicolo e la rete [5]	6
1.3	Sistema di gestione dell'energia della microrete dc [14]	8
1.4	Descrizione consumo giornaliero in un'abitazione a San Francisco (OEDI)	11
1.5	Grafico rappresentante i consumi avvenuti nell'arco di 24h (ENTSO-E)	11
1.6	Grafico rappresentante i consumi avvenuti nell'arco di 24h (ENTSO-E)	11
1.7	Consumi effettuati nell'arco di una giornata (Umass)	12
1.8	Consumi medi relativi a tutti i giorni dell'anno (Micene) [21]	13
1.9	Curva di carico giornaliera (BANES)	13
1.10	Curva di carico valutata minuto per minuto per ogni membro della famiglia (LPG)	14
2.1	BMS [28]	19
2.2	Configurazione BMS proposta [30]	20
2.3	Grafico rappresentante l'energia erogata per sessione di ricarica (ACN-data)	22
2.4	Sessioni di ricarica Syn e Flex per ogni potenza (Mendeley Data)	23
4.1	Grafico potenza solare	30
4.2	Grafico totale dei consumi di ogni membro della famiglia	31
4.3	Diagramma di flusso algoritmo BES	35
4.4	SOC e andamento potenza del BES	35
4.5	Diagramma di flusso algoritmo BEV	37
4.6	SOC e andamento potenza del BEV	37
5.1	Istogramma energia ceduta/assorbita	41
5.2	Simulazione 1	41
5.3	Simulazione 2	42
5.4	Simulazione 3	42
5.5	Simulazione 4	43
5.6	Simulazione 5	43
5.7	Simulazione 6	44
5.8	Simulazione 7	44
5.9	Simulazione 8	45
5.10	Simulazione 9	45

Elenco delle figure

5.11	Simulazione 10	46
5.12	Simulazione 11	46
5.13	Simulazione 12	47
5.14	Simulazione 13	47
5.15	Simulazione 14	48
5.16	Simulazione 15	48
5.17	Simulazione 16	49
5.18	Simulazione 17	49
5.19	Simulazione 18	50
5.20	Istogramma energia ceduta/assorbita	51
5.21	Giorno 2/01	52
5.22	Giorno 3/01	53
5.23	Giorno 4/01	53
5.24	Giorno 5/01	54
5.25	Giorno 6/01	54
5.26	Giorno 7/01	55
5.27	Giorno 8/01	55
5.28	Giorno 9/01	56
5.29	Giorno 10/01	56
5.30	Istogramma energia ceduta/assorbita (63 case)	58
5.31	Grafico del giorno 1/01 (63 case)	58
5.32	Istogramma energia ceduta/assorbita (condominio 10 case)	59
5.33	Grafico del giorno 1/01 (condominio 10 case)	60
5.34	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 1)	61
5.35	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 2)	61
5.36	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 3)	62
5.37	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 4)	63
5.38	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 5)	63
5.39	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 6)	64
5.40	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 7)	65
5.41	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 8)	65
5.42	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 9)	66
5.43	Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 10)	67
5.44	Istogramma energia ceduta/assorbita (somma dei 10 utenti)	68
5.45	Grafico del giorno 1/01 (somma dei 10 utenti)	68

Elenco delle tabelle

1.1	Elenco delle caratteristiche fondamentali degli algoritmi descritti . . .	9
1.2	Elenco delle caratteristiche fondamentali dei dataset studiati	14
2.1	Proprietà fondamentali riguardanti gli algoritmi descritti	21
2.2	Parametri, raccolti dai dataset valutati in precedenza, relativi al profilo delle batterie	23
5.1	Tabella riassuntiva possibili configurazioni	39
5.2	Tabella riassuntiva con 18 simulazioni	40
5.3	Output simulazione di dieci giorni	51
5.4	Tabella riassuntiva valori del quartiere	57
5.5	Tabella riassuntiva valori del condominio	59
5.6	Tabella valori casa 1	60
5.7	Tabella valori casa 2	61
5.8	Tabella valori casa 3	62
5.9	Tabella valori casa 4	62
5.10	Tabella valori casa 5	63
5.11	Tabella valori casa 6	64
5.12	Tabella valori casa 7	64
5.13	Tabella valori casa 8	65
5.14	Tabella valori casa 9	66
5.15	Tabella valori casa 10	66
5.16	Tabella valori sommati di ogni singolo utente	67

Introduzione

La presente tesi affronta problematiche rilevanti ed attuali per un futuro sostenibile ed ecologico, caratterizzato da innovazione e tecnologia; in particolare, si occupa della gestione dell'energia in una smart grid.

L'attenzione posta su questo argomento non scaturisce soltanto dalla preoccupazione mondiale di ridurre tempestivamente l'inquinamento climatico e il surriscaldamento globale, ma anche dalla volontà di risolvere questioni quali l'approvvigionamento energetico, il consumo assiduo di energia elettrica, attraverso il risparmio energetico e migliorando l'efficienza energetica.

Con l'avanzare degli anni è incrementata la domanda di energia e a tale scopo si è posto come uno dei principali obiettivi quello di poter generare energia elettrica a basso costo, se non addirittura a costo zero, grazie alla valorizzazione di risorse naturali, dalle quali si possono ricavare fonti energetiche rinnovabili.

Ciò che si è messo in luce è stata la necessità di attuare un cambiamento rispetto al sistema tradizionale, sfruttando i vantaggi della Smart Grid, capace di combinare le caratteristiche di una rete intelligente, legata al fenomeno dell'IoT (Internet of thing), con quelle di una classica rete elettrica, in modo da controllare i flussi di energia in entrata e in uscita dal sistema.

A fare da cornice alla diffusione di questo tipo di griglie, subentra il sistema V2G utile per regolare la trasmissione bidirezionale di energia tra la rete e il veicolo, rappresentante una buona soluzione in caso di mancanza di energia all'interno di un'abitazione e un'ottima alternativa al combustibile, riducendo l'impatto ambientale. In questa tesi si presenta un sistema di ottimizzazione della gestione dell'energia domestica in una Smart grid, nello specifico: il primo e il secondo capitolo introducono, con un'ampia spiegazione descrittiva, gli argomenti principali, il loro scopo ed utilizzo ed inoltre forniscono l'elenco degli algoritmi e dei dataset di riferimento presenti in letteratura; nel terzo capitolo viene presentato il software Matlab, ovvero l'ambiente di lavoro, mettendo in risalto le sue caratteristiche rispetto ad altri tool presenti; nel quarto capitolo vi è la rappresentazione del modello, attraverso l'elenco di ogni componente della micro griglia e la descrizione dell'implementazione del codice; il capitolo cinque illustra il tipo di simulazioni effettuate, gli esiti conseguiti commentati e i grafici sugli andamenti nel tempo della potenza istantanea e delle energie; nel sesto capitolo si conclude l'elaborato evidenziando gli aspetti negativi e positivi determinati in seguito alle simulazioni e suggerendo alcune proposte future da poter attuare.

Capitolo 1

Smart Grid

1.1 Aspetti generali della Smart Grid

Una smart grid è una rete elettrica “intelligente”, ossia l’insieme di una rete di informazione unitamente ad una rete di distribuzione elettrica, dotata delle ICT che le consentano, attraverso lo scambio reciproco di informazioni, di controllare e gestire, in tempo reale e in maniera più efficiente, razionale e sicura, il flusso di energia della rete stessa.

Le Smart Grid sono nate dalla necessità di attuare un avanzamento del sistema elettrico tradizionale e anche come risposta alla richiesta d’aiuto da parte dell’UE, in merito alla strategia utilizzata per impedire il surriscaldamento globale. Sono stati posti degli obiettivi europei e globali da raggiungere attraverso la transizione energetica, come ridurre le emissioni di gas serra di almeno il 40% entro il 2030 e mantenere l’aumento della temperatura globale sotto i 2 °C, coprire il consumo energetico con almeno il 32% da fonti rinnovabili, migliorare del 32,5% l’efficienza energetica. [1][2]

A tal proposito è importante soffermarci su alcune delle motivazioni dalle quali deriva il bisogno di ricorrere a questa soluzione:

- la possibilità di risanare alcune delle problematiche ambientali eliminando gli sprechi e riducendo le emissioni di CO₂, mediante l’utilizzo di fonti rinnovabili e meno inquinanti, in grado di ottimizzare il consumo e la trasmissione di energia;
- la garanzia a rendere la fornitura dell’energia il più proficua possibile e a migliorare la continuità del servizio, con la riduzione dei tempi di interruzione elettrica, prevenendo black-out o sovraccarichi, minimizzando variazioni della tensione elettrica intorno al suo valore nominale;
- capace di permettere l’ottimizzazione dei capitali minimizzando i costi di gestione e manutenzione grazie al monitoraggio costante e la manutenzione predittiva;
- la capacità, dal lato del gestore, di valutare il comportamento elettrico dei carichi nella gestione uniforme della rete e dal lato dell’utente, la modulazione del

proprio consumo energetico, bilanciando il fabbisogno nell'arco della giornata e cercando di soddisfare, negli orari più vantaggiosi, le diverse richieste di elettricità;

- gestione bidirezionale dell'energia, potendo riceverla e , quando è in eccesso, immetterla nel sistema, redistribuendo il flusso in tempo reale e a seconda degli effettivi bisogni.

Le caratteristiche tecnologiche innovative che le implementano consentono di vedere le Smart Grid proprio come quell'evoluzione della rete elettrica tradizionale (di tipo unidirezionale, sia per quanto riguarda il flusso di energia, sia per le informazioni), dalla quale si differenziano per due aspetti peculiari, il funzionamento bidirezionale e l'abbinamento a dispositivi "intelligenti" (ICT). Altri elementi chiave contribuiscono al miglioramento della distribuzione dell'energia, come la gestione distribuita, fonti rinnovabili non programmabili (fotovoltaico, eolico), nuove tipologie di utenti (prosumer ossia consumatore/produttore della propria energia, veicoli elettrici).

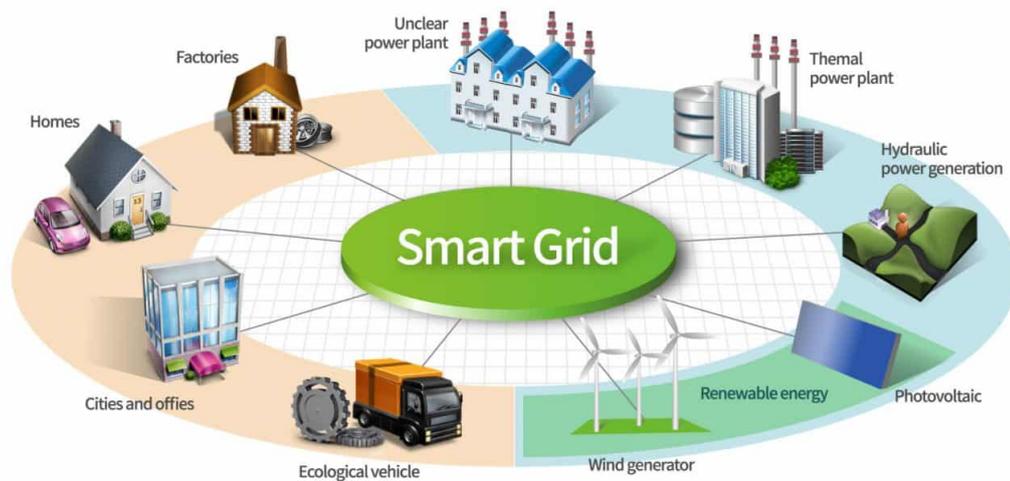
Dunque, si passa da un sistema che non preveda solo la presenza di gestione centralizzata, ossia dal centro verso i nodi periferici in modo da diffondere l'energia da pochi generatori o centrali a un grande numero di utenti, ma anche di quella distribuita, in cui il flusso di energia è invertito e si trasmette da sistemi di elettricità fornita da fonti rinnovabili, sotto forma di unità di piccola produzione, verso il centro. Inoltre, essendo queste ultime non programmabili è necessaria una gestione distribuita più intelligente nel controllo della struttura elettrica, in grado di redistribuire a livello locale eventuali surplus di energia in aree vicine, prevenendo o riducendo al minimo un'interruzione potenziale.

Questo significa che l'energia elettrica può anche essere introdotta nella rete dagli utenti stessi, sia attraverso generatori di energia come impianti fotovoltaici, sia da sistemi di accumulo come i veicoli elettrici (V2G).

L'evoluzione consiste appunto nel rendere questi sistemi intercomunicanti e interagenti fra di loro: per riuscire in questo le Smart Grid contano su dispositivi intelligenti, tali da permettere uno scambio continuo di informazioni tra tutti i nodi, facendo emergere la loro efficienza.

L'innovazione consente di far viaggiare l'energia elettrica da più nodi rendendo la rete in grado di rispondere tempestivamente alla richiesta di maggiore o minore consumo di uno o più utenti e rendendo immediata e ottimale la gestione come un vero e proprio organismo intelligente. Perseguire questo risultato è complesso ma si sta raggiungendo per gradi. [3]

La figura 1.1 [4], in linea generale, non rappresenta altro che la massima complessità e diversificazione di una Smart Grid, costituita da due classi di componenti suddivise in base alle loro funzionalità e modalità della gestione energetica: la prima riguarda la generazione e fornitura dell'energia, la seconda , invece, il consumo e l'utilizzo di essa.

Figura 1.1: *Smart Grid* [4]

Il flusso energetico può essere prodotto da uno o più tipi di energia distribuita, da fonti rinnovabili come pannelli fotovoltaici, pale eoliche e stazioni idroelettriche, dalla combustione di materiale fossile come avviene nelle centrali nucleari, da generatori e da cogenerazione (combinazione di energia meccanica, solitamente trasformata in energia elettrica, e di calore). Chi ne usufruisce, indipendentemente dalla provenienza e in base allo scopo e al modo per cui essa viene impiegata, sono le abitazioni, gli uffici, le fabbriche, i veicoli elettrici e le batterie tampone. Queste ultime (BES) giocano un ruolo importante in quanto sono capaci di accumulare energia e restituirla alla rete quando vi è, da parte dell'utilizzatore, una richiesta di bisogno di energia. Un sistema base di distribuzione locale, formato da generatori, consumatori e sistemi di accumulo viene chiamato in generale microgrid ed è una parte di quello che è il sistema più ampio; esso nasce come realizzazione pratica e reale della smart grid, da cui si differenzia, oltre che per la grandezza strutturale, anche per la possibilità di funzionare autonomamente, in modalità "isola", usufruendo totalmente delle energie accumulate o dal pacco batterie o da un semplice veicolo elettrico.

1.2 V2G

Il Vehicle to grid (dal veicolo alla griglia) rappresenta una buona soluzione per la vendita e gestione intelligente dell'energia, diventando un tema piuttosto ricorrente per quanto riguarda la mobilità elettrica (in quanto lo sviluppo della formula V2G è strettamente connesso allo sviluppo di essa) e le reti di nuova generazione, con particolare riferimento ai progetti innovativi e alle strategie di elettrificazione nel lungo termine. [5]

Il flusso di elettricità gestito in maniera bidirezionale è la caratteristica principale di tali sistemi: il funzionamento consiste in una comunicazione diretta tra i veicoli

(PEV, BEV, PHEV, FCEV) e la rete elettrica, attraverso il trasferimento e lo scambio di energia tra le due parti. In particolare, nei momenti in cui la domanda della rete aumenta, le vetture cariche hanno la capacità di reimmettere parte dell'energia immagazzinata nella rete, ovviamente in maniera tale da non compromettere la possibilità di mobilità del singolo utente.

In questo modo, ogni veicolo elettrico diventa una risorsa di immagazzinamento di energia distribuita, in grado di prelevare l'elettricità durante i periodi di alta generazione rinnovabile e/o di bassa domanda e di scaricare nuovamente l'elettricità sulla rete durante i periodi di alta domanda e/o di bassa generazione rinnovabile. La tecnologia V2G crea anche valore per i proprietari di veicoli elettrici riducendo i costi di ricarica, in tal caso uno studio ha scoperto che i servizi V2G potrebbero ridurre i costi di ricarica fino al 13%. [6]

Il concetto di base del vehicle-to-grid power è che i veicoli elettrici forniscono energia alla rete mentre sono parcheggiati. Quelli a batteria (BEV) possono caricarsi durante i periodi di bassa domanda e scaricare quando c'è bisogno di energia, quelli a celle a combustibile (FCEV) generano energia da carburante liquido o gassoso, infine gli ibridi plug-in (PHEV) possono funzionare in entrambe le modalità. Ogni veicolo deve avere tre elementi necessari: una connessione alla rete per il flusso di energia elettrica, controllo o connessione logica necessaria per la comunicazione con la rete operatore, e controlli e misurazione a bordo del veicolo. [7]

La tecnologia alla base del V2G è l'inverter di potenza bidirezionale (AC/DC), capace di collegarsi alla batteria ad alta tensione dell'auto e allo stesso tempo a quella della rete, ma in bassa tensione. I flussi di elettricità sono poi gestiti da un'unità di controllo, tenendo conto delle esigenze di fabbisogno del gestore di rete e di quelle dell'utente.

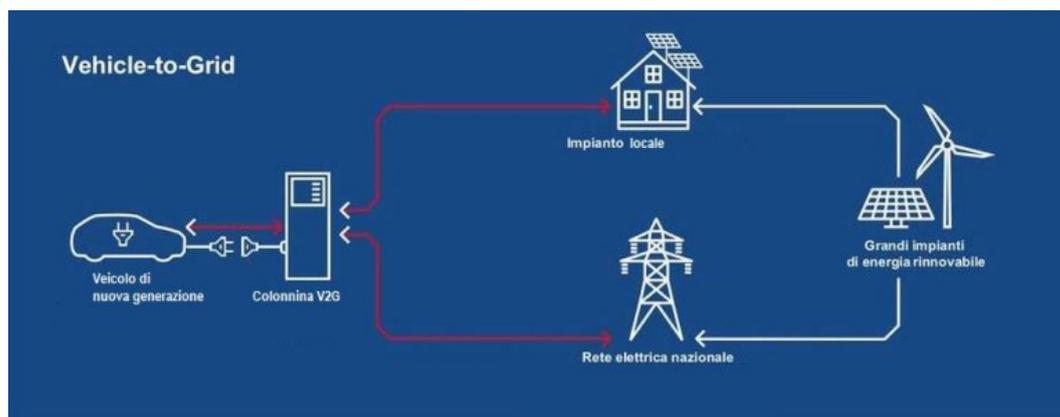


Figura 1.2: Schema V2G: funzionamento dello scambio di energia tra il veicolo e la rete [5]

1.3 Algoritmi di gestione Smart Grid

L'unità "pensante" di cui è provvista la Smart Grid sceglie, in base a determinate condizioni, come gestire e distribuire l'energia che entra o esce dal blocco abitativo, tramite l'ausilio di alcuni componenti come sensori, processori, software e storage. Andando a vedere nel dettaglio le funzionalità di ogni componente, si va a scoprire il modo in cui interagiscono tra di loro: il processore, insieme al software, elabora un algoritmo in grado di controllare l'energia del prosumer in base ai consumi, calcolati attraverso i sensori, e all'energia residua, immagazzinata negli impianti di storage come batterie e auto elettriche. Parte dell'evoluzione tecnologica di questo settore deriva proprio da questi algoritmi che si aggiornano a mano a mano, sfruttando nuove tecniche di implementazione.

Generalmente, prima della realizzazione vera e propria della smart grid, è importante poter valutare quale algoritmo sia più efficace e più utile per raggiungere gli obiettivi prefissati in partenza.

- *"Analysing the efficient use of energy in a small smart grid system" [8]:* descrive un modello base di smart grid in grado di poter fare simulazioni e analisi, esso è composto da una casa intelligente con un piccolo centro di gestione dell'energia.
- *"1 Real-Time Digital Simulation of Microgrid Control Strategies" [9]:* in tale articolo vi sono altri componenti aggiuntivi, quali V2G e generatore di emergenza che rendono il sistema più complesso, ma completo in modo da poter lavorare anche con la modalità isola.
- *"Smart Residential Load Simulator for Energy Management in Smart Grids" [10]:* gli autori nel loro articolo descrivono un esempio di smart grid che, diversamente dai primi due, contiene modelli più precisi per i carichi (ad esempio gli elettrodomestici) in modo da calcolare il loro singolo consumo di energia e stimare esattamente quello totale.

L'uso delle V2G con l'avanzare del tempo e con il progresso tecnologico potrà influenzare la progettazione delle smart grid; infatti, il "Vehicle to Grid" porta benefici all'intero sistema elettrico, sia in termini di potenza (energia accumulata) ma anche in termini di bilanciamento di tensione, è questo il tema principale trattato nei seguenti articoli:

- *"Using electric vehicles as flexible resource in power systems: A case study in the Netherlands" [11]:* articolo in cui gli autori evidenziano le conseguenze legate alla crescita del mercato olandese delle auto elettriche, prendendo come riferimento il modello di impegno unitario e dispacciamento ottimale Dispa-SET.
- *"On Effects of PEVs in Islanded Microgrids Resilience" [12]:* si studia come la variazione istantanea di potenza possa essere colmata nell'usare un PEV, difatti

i risultati indicano che l'applicazione di questi ultimi, come risorse flessibili, può migliorare significativamente la resilienza delle microgrid nella mitigazione dei distacchi di carico.

- *“Smart Deregulated Grid Frequency Control in Presence of Renewable Energy Resources by Evs Charging Control” [13]*: si analizza l'implementazione di una V2G che permette il controllo della frequenza e la stabilità di tutti i sistemi elettrici della microgrid. Per tale scopo, viene utilizzato un controller fuzzy ottimizzato, assumendo un sistema IEEE 39-bus modificato in presenza di risorse energetiche rinnovabili.

In letteratura vi sono molti esempi di algoritmi, i quali si differenziano per il tipo di approccio utilizzato e per gli obiettivi preposti: da una parte vi sono due tipi di algoritmi, alcuni basati sul valore puntuale e in tempo reale dell'energia in gioco e altri incentrati sulla predizione dell'energia da utilizzare per il resto della giornata; dall'altra, algoritmi con la stessa logica dei precedenti, ma con il fine diverso.

I primi algoritmi sono molto basilari e possono essere schematizzati con un semplice diagramma a blocchi, come l'articolo menzionato di seguito:

- *“Energy management in DC microgrid” [14]*: si nota come gli autori abbiano scelto l'algoritmo prendendo come dati in ingresso la potenza erogata dalle fonti rinnovabili e lo stato di carica (SOC) della batteria di storage.

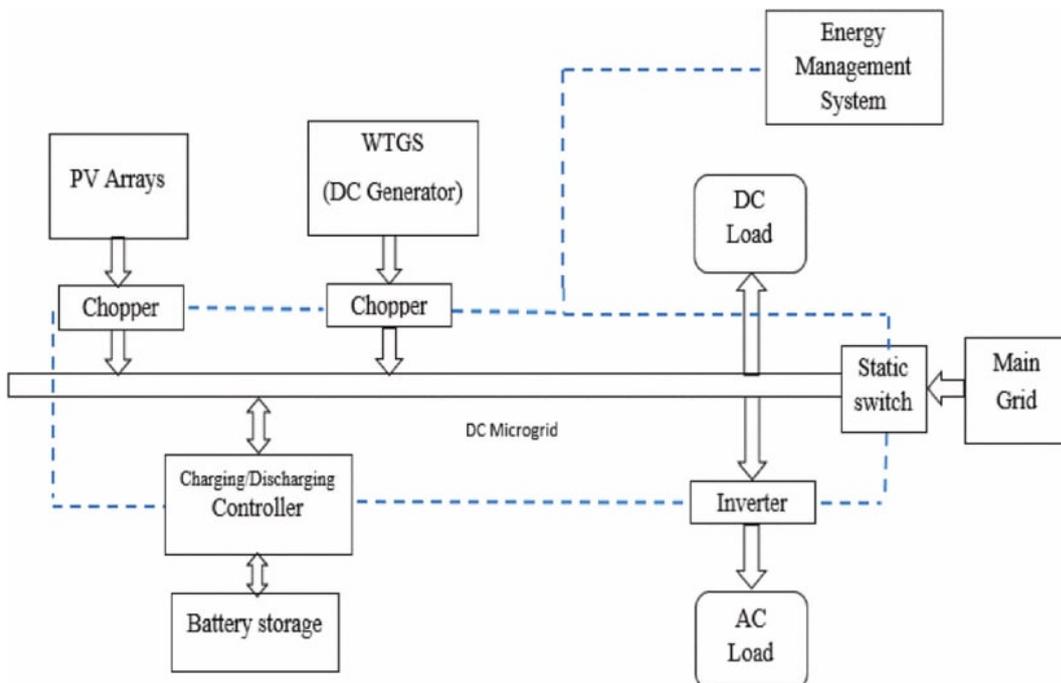


Figura 1.3: Sistema di gestione dell'energia della microrete dc [14]

I secondi algoritmi riguardano la stima dell'energia effettuata con metodi di intelligenza artificiale misti a tecniche di machine learning:

1.3 Algoritmi di gestione Smart Grid

- “Microgrid development for properties“ [15]: presentato nel 2011, durante la seconda conferenza internazionale sulle tecnologie innovative per la smart grid tenuta a Manchester, gli autori introducono in questo articolo due metodi inerenti all’apprendimento automatico, il cui meccanismo che li accomuna è capace di prevedere la generazione di energia dai generatori distribuiti (in particolare quella in loco o la microgenerazione da fonti rinnovabili basata sulle previsioni meteorologiche), la domanda di energia da parte di tutti gli utenti e il costo dell’energia.

I terzi si occupano dell’ottimizzazione dei costi operativi della Smart Grid:

- “Renewable Energy Microgrid Model using MATLAB — Simulink” [16]: articolo del 14 maggio 2020 scritto da Petreus, Ignat e Szilagyi, nel quale ci si è soffermati, in particolare, sull’algoritmo Stochastic-Dynamic, simulato su due scenari diversi, ovvero nel primo la microgrid studiata è collegata alla rete principale, invece, nella seconda vi è il funzionamento in modalità isola.
- “Energy management in smart grids for the integration of hybrid wind–PV–FC– battery renewable energy resources using multi-objective particle swarm optimisation (MOPSO)” [17]: algoritmo di MOPSO, presentato nel IET (The Institution of Engineering and Technology) Journal da Elgammal e El-Naggar, riesce anche a massimizzare la potenza per ogni tipo di sorgente grazie all’iterazione eseguita su un array contenente tutti i valori possibili di dati di ingresso.

Di seguito viene graficato uno schema, riassumendo i punti chiave degli algoritmi finora descritti, al fine di confrontare, non soltanto le caratteristiche principali, ma anche la logica adottata e i campi di utilizzo di ognuno di essi (tabella 1.1).

ALGORITMI	Anno pubblicazione	P.V.	Sistema V2G	Modelli per i carichi (elettrodomestici, etc.)	Stima SOC	Machine learning	Batteria di storage	Focus principale
G. Fulli [8]	2012	No	No	✓	No	No	No	Monitoraggio energia nella Smart Grid
D. S. Kirschen [9]	2020	✓	✓	No	No	No	✓ (singola)	Valutazione strategie di controllo della microgrid
J. M. G. Lopez [10]	2018	✓	No	✓	✓	✓	✓ (singola)	Studio comportamento di una Smart Grid
A. Beltramo [11]	2017	✓	✓	No	No	No	✓	Impatto V2G sulla Smart Grid
A. G. Fiorese [12]	2019	✓	✓	No	✓	No	✓ (singola)	Efficacia PEV modalità isola
S. A. Taher [13]	2016	✓	✓	No	✓	No	No	Stabilizzazione rete con V2G
P. V. Joshi [14]	2015	✓	No	No	✓	No	✓ (singola)	Gestione energetica
X. Liu [15]	2011	✓	No	✓	No	✓	No	Controllo intelligente sistema Smart Grid
A. Ignat [16]	2020	✓	No	No	✓	✓	✓ (singola)	Gestione energetica automatizzata
Adel Elgammal [17]	2018	✓	No	✓	✓	✓	✓ (singola)	Ottimizzazione consumo energetico

Tabella 1.1: *Elenco delle caratteristiche fondamentali degli algoritmi descritti*

1.4 Dataset di consumo domestico

I dataset sono una collezione di dati strutturati, connessi e messi in relazione tra di loro attraverso tabelle o matrici, i quali vengono utilizzati poiché capaci di fornire informazioni concrete, seguite da esempi numerici; successivamente all'operazione di elaborazione di questi set di dati da parte degli algoritmi, si produrranno risultati utili per valutare e testare l'autenticità degli algoritmi stessi, confrontandoli tra di loro e stimando in tal modo quello più efficiente.

In particolare, per quanto concerne le smart grid, quelli presi in esame in questo elaborato sono caratterizzati da alcune proprietà:

- Timestamp (marca temporale);
- Energia immagazzinata e ceduta;
- Potenza assorbita e trasferita (consumi);
- Presenza di fonti rinnovabili;
- Proprietà e dimensionamento delle batterie di storage;
- Stato o Paese analizzato;
- Numero di strutture abitative considerate;
- Variabili generali (pressione atmosferica, temperatura, windspeed, umidità).

Si prendono come esempio e si utilizzano dei dataset capaci di fornirci un quadro realistico dei consumi effettivi di una struttura domestica.

- OEDI (Open Energy Data Initiative) Data Lake [18]: fornisce un esempio di dataset di ricerca energetica di alto valore e contiene dati raccolti ogni ora e relativi al profilo di carico residenziale e commerciale di tutte le località TMY3 degli Stati Uniti per l'anno 2013. In particolare, il grafico di figura 1.4 riportato di seguito, descrive l'utilizzo di energia elettrica relativo ad ogni ora del giorno 01/01/2013 in una abitazione a San Francisco.
- ENTSO-E System Operations Committee [19]: presenta una gamma di dati sull'utilizzo domestico, i cui valori analizzati riguardano sia il consumo giornaliero accumulato ora per ora e sia quello mensile di ogni stato appartenente a questa organizzazione, tra cui anche l'Italia. In figura 1.5, viene preso a campione il giorno 01/01/2015 per poter mostrare l'andamento dei consumi relativi a quel giorno in Italia; invece, in figura 1.6, viene calcolato il consumo totale di ogni giorno per l'intero mese di Gennaio.

1.4 Dataset di consumo domestico

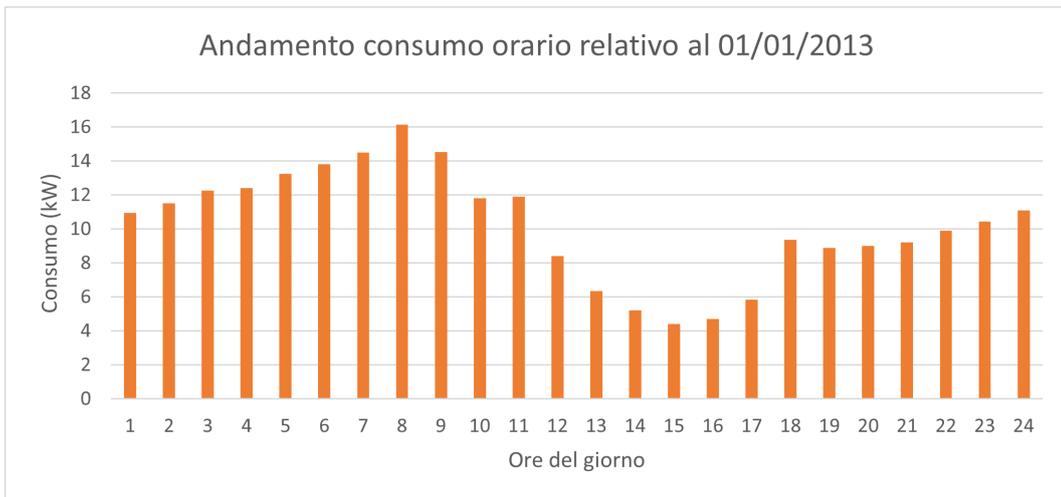


Figura 1.4: Descrizione consumo giornaliero in un'abitazione a San Francisco (OEDI)

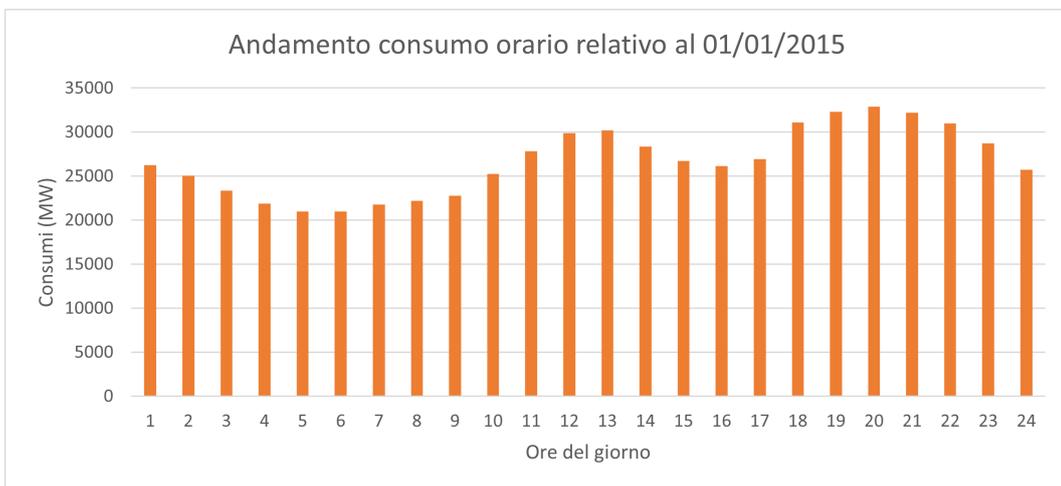


Figura 1.5: Grafico rappresentante i consumi avvenuti nell'arco di 24h (ENTSO-E)

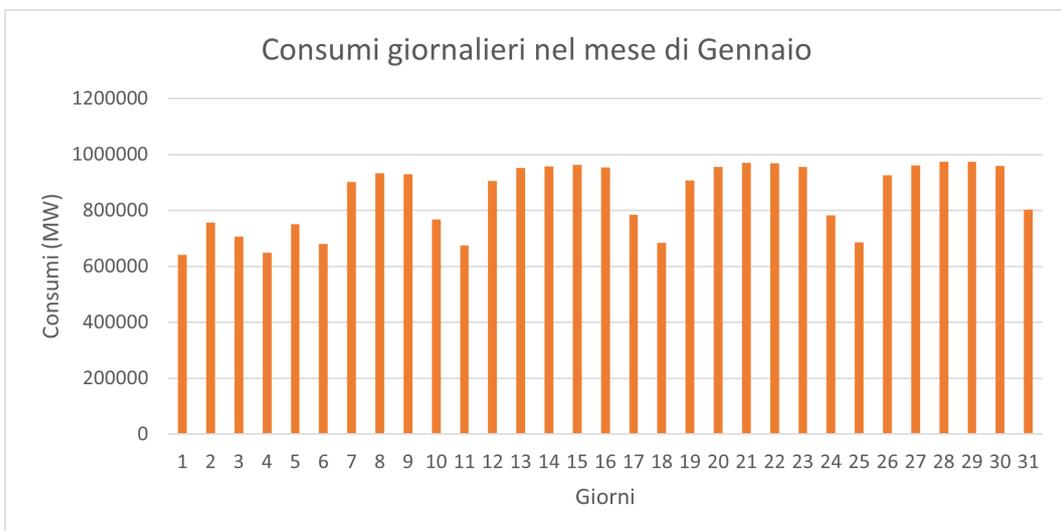


Figura 1.6: Grafico rappresentante i consumi avvenuti nell'arco di 24h (ENTSO-E)

- *Umass [20]*: raccoglie una molteplicità di informazioni, ottenute grazie al lavoro di monitoraggio dei consumi di tre diverse abitazioni (Home A, Home B, Home C): mentre nella prima vengono acquisiti dati ogni mezz'ora (esempio riportato nella figura 1.7), nelle altre due viene eseguito un lavoro più minuzioso, rispettivamente ogni minuto e ogni quarto d'ora; si tratta di un dataset abbastanza dettagliato, il cui obiettivo riguarda l'ottimizzazione del consumo energetico domestico.



Figura 1.7: Consumi effettuati nell'arco di una giornata (*Umass*)

- *Micene [21]*: tale progetto nasce con un motivo principale, ovvero il contenimento dell'impatto ambientale associato alla produzione, distribuzione e consumo di energia elettrica e termica ed è uno strumento utile per l'esecuzione di attività legate all'incremento dell'efficienza energetica. L'analisi dei consumi è stata effettuata con un intervallo temporale di 10 minuti, prendendo singolarmente ogni categoria di apparecchio presente all'interno delle abitazioni target e facendo una media di tutte le curve di carico giornaliera; infatti, in figura 1.8, sono raffigurati i risultati della campagna di misure eseguita sulle lavastoviglie.

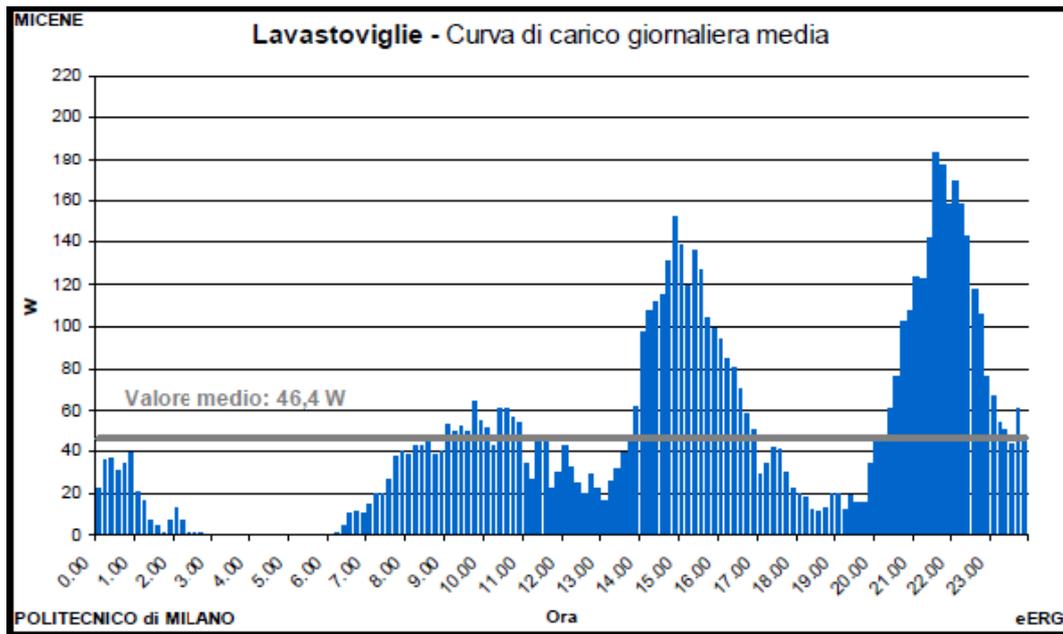


Figura 1.8: Consumi medi relativi a tutti i giorni dell'anno (Micene) [21]

- *RECS* [22] – *CBECS* [23]: rilasciati dall'agenzia statistica e analitica “Energy Information Administration (EIA)” del Dipartimento dell'energia degli USA, rappresentano i dataset più completi trattati in questo elaborato. I valori delle indagini, presi annualmente e calcolati in Btu (British thermal unit, unità di misura dell'energia), sono tabulati per aree geografiche e per caratteristiche particolari, come il tipo di unità abitativa/commerciale e il reddito.
- *BANES* [24]: fornisce dati ottenuti ogni trenta minuti e riguardanti edifici comunali di vario genere (come scuole, cimiteri, biblioteche, etc.), difatti l'esempio che segue in figura 1.9, ritrae la curva di carico relativa alla biblioteca di Radstock, località a sud della Gran Bretagna.

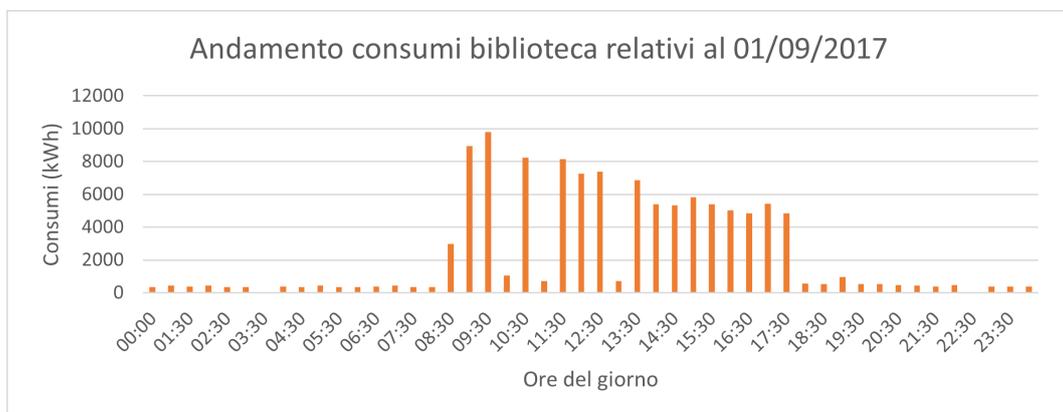


Figura 1.9: Curva di carico giornaliera (BANES)

Capitolo 1 Smart Grid

- LPG [25]: è uno strumento di modellazione per il consumo di energia residenziale ed esegue una simulazione completa del comportamento delle persone in una famiglia e la usa per generare curve di carico. In figura 1.10, si è graficato il consumo giornaliero di ogni membro di una famiglia presa a campione tra le molteplici presenti nel dataset.

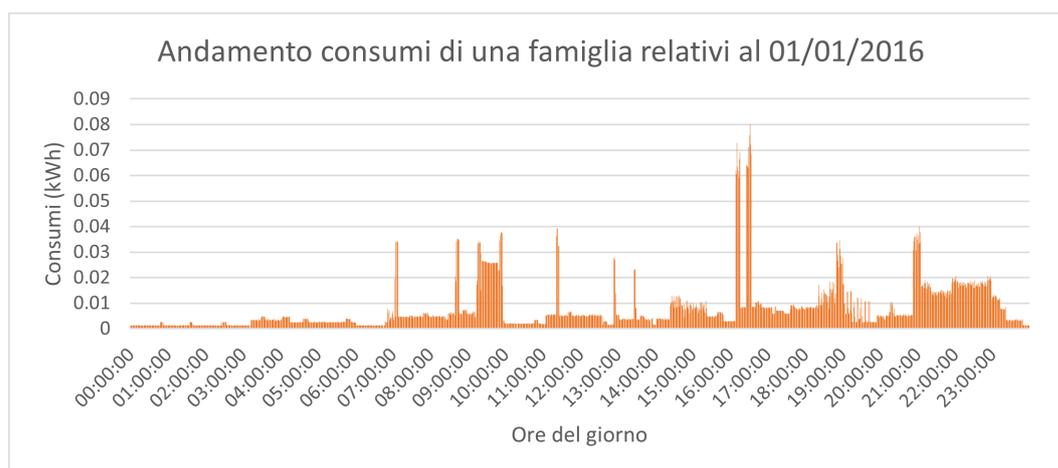


Figura 1.10: Curva di carico valutata minuto per minuto per ogni membro della famiglia (LPG)

Le peculiarità fondamentali dei data set descritti precedentemente si possono raccogliere in una tabella riassuntiva, nella quale si riportano informazioni dettagliate relative ad aspetti qualitativi.

DATASET	Step temporale	Anni	Consumi (o.d.g.)	Variabili aggiuntive (temperatura, pressione, ecc.)	PV	Localizzazione Geografica	Superficie edifici	Occupanti	Consumi apparecchi interni	Tipologia edifici	Numero unità presenti
OEDI Data Lake [18]	1 h	1 (2013)	kW	No	No	USA	✓ (commerciali)	✓	✓	Residenziali e commerciali	935 città esaminate
ENTSO-E [19]	1 h	11 (2006-2017)	MW	No	✓	Europa	No	No	No	Residenziali	27 Stati EU
Umass [20]	1/15/30 min	3 (2014-2016)	kW	✓	✓	Nord America	✓	No	✓	Residenziali	3 edifici
MICENE [21]	10 min	3 (2000-2002)	kW	No	No	Italia	✓	✓	✓	Residenziali	1 edificio (media tra 110)
RECS [22]	annuo	12	Btu	✓	✓	USA	✓	✓	✓	Residenziali	1 Stato
CBCECS [23]	annuo	12	Btu/kWh	✓	✓	USA	✓	✓	✓	Commerciali	1 Stato
BANES [24]	30 min	Giorni sparsi tra 2007 e 2016	kWh	No	No	UK	No	No	No	Commerciali	166276 edifici
LPG [25]	1 min	1 (2016)	kWh	✓	✓	Germania	No	✓	✓	Residenziali	63 famiglie

Tabella 1.2: Elenco delle caratteristiche fondamentali dei dataset studiati

1.4 Dataset di consumo domestico

Nella tabella 1.2, alcuni dataset si differenziano per aver tenuto conto della maggior parte dei dati possibili, prendendo in considerazione non soltanto le tipiche caratteristiche, ma anche quelle particolari e difficili da trovare: vengono menzionati fattori come il numero degli occupanti dell'edificio monitorato, la superficie sul quale si estende quest'ultimo, tipo di fabbricato, la presenza di pannelli fotovoltaici e i consumi elettrici di apparecchi informatici, di elettrodomestici di qualsiasi genere e di impianti (es. ascensori) e le unità presenti, il cui dato in questione si riferisce alla molteplicità o meno di edifici/città/famiglie/Stati studiati e presenti all'interno del Dataset di riferimento.

Capitolo 2

BMS

2.1 Aspetti generali del BMS

Il BMS (Battery Management System), un sistema di monitoraggio e bilanciamento della carica elettrica di una batteria, gestisce e controlla, in maniera intelligente, singole celle o pacchi batteria garantendone le migliori prestazioni tecniche ed energetiche. Le grandi batterie al litio sono formate da centinaia o migliaia di singole celle, le quali rendono le loro strutture più complesse al loro interno e per tale motivo devono essere gestite con precisione.

Lo scopo di un BMS è quello di rivelare lo stato di funzionamento sotto forma di stato di carica e stato di salute (capacità), indicare la fine del ciclo di vita quando la capacità scende al di sotto della soglia di target impostata dall'utente.

Si può comprendere il comportamento del BMS avvalorandosi di alcune parole chiavi in grado di descriverlo al meglio:

- Monitoraggio: esaminare lo stato della batteria attraverso vari elementi come tensioni (quelle tra le celle devono essere attentamente equilibrate), temperatura (non conta solamente quella massima o minima, ma soprattutto che sia omogenea su tutte le celle per avere un invecchiamento regolare) e corrente;
- Bilanciamento: al fine di massimizzare e migliorare la durata e la capacità della batteria, il BMS, può bilanciare le celle in modo da averle allo stesso voltaggio o stato di carica, ottimizzando così l'autonomia di guida per veicoli e-mobility;
- Protezione: impedisce l'utilizzo della batteria al di fuori di un'area operativa sicura, all'interno della quale la batteria lavora efficientemente e fornisce una tutela durante la carica e la scarica, in particolare disconnettendo la batteria se vengono superati i limiti impostati o se si verifica un guasto;
- Comunicazione: un bus dati è affiancato al BMS per costruire un pacco batteria intelligente, predisposto per la trasmissione di informazione sia verso l'hardware interno (celle) che esterno (laptop o carica batterie);
- Recupero energetico: nei sistemi per i veicoli elettrici, il BMS reindirizza l'energia recuperata dalla frenata rigenerativa nel pacco batteria;

- Calcolo: vengono esaminati i valori del voltaggio, della corrente massima di scarica e carica, carica [Ah] consegnata o memorizzata, energia totale erogata dal primo utilizzo, energia erogata dall'ultima carica, Stato di Salute (SOH), Stato di alimentazione (SOP), Stato di sicurezza (SOS), Stato di carica (SOC) o profondità di scarica (DOD).[26]

Quando la batteria si esaurisce, la lettura del SOC è incompleta, quindi sarà necessario tenere conto anche della capacità, la quale è l'indicatore principale del SOH (rapporto tra la carica iniziale e la quantità di carica che si è deteriorata nel tempo misurata con il metodo del conteggio di Coulomb); infatti, la conoscenza di tali parametri di misura fornisce lo stato di funzionamento (SOF) del sistema complessivo. Una parte principale del BMS è costituita dalla durata e dal rendimento di ciascuna cella, caratteristiche che tendono a ridursi nel caso in cui la batteria dovesse funzionare al di fuori dell'intervallo di tensione, danneggiando la cella e rendendola inutilizzabile. Se le celle vengono scaricate al di sotto di una determinata soglia (circa il 5% della capacità totale), la loro capacità può diminuire permanentemente. Per tale motivo è importante controllare le tensioni tra le celle per determinare lo stato generale della batteria e assicurarne il corretto funzionamento.

Quando si parla di monitoraggio non si può escludere il controllo termico e tutto ciò che ne consegue, poiché è un requisito imprescindibile di ogni sistema BMS: le batterie di oggi durante la carica richiedono una temperatura nel range tra 0°C e +45°C, mentre durante la scarica, questo intervallo si estende a valori che vanno circa da -20°C a +60°C. Da premettere che le cifre indicate precedentemente possono differire in base alla tecnologia utilizzata per la fabbricazione delle batterie, tuttavia rappresentano una buona stima della temperatura da adottare affinché, così come per le tensioni, si possa evitare il funzionamento al di là di questi intervalli.

La maggior parte delle volte è richiesto un abbassamento della temperatura, che convenzionalmente viene fornito attraverso due tecniche: il raffreddamento ad aria, mediante l'uso di ventole adatte e il raffreddamento a liquido tramite glicole, materiale con elevata conducibilità termica e temperatura di ebollizione. Tuttavia, c'è un'eccezione quando la temperatura ambientale è molto più rigida, affinché avvenga con sicurezza la carica della batteria, si opta per un meccanismo di riscaldamento delle celle.

L'utilizzo sempre più crescente dei veicoli elettrici (alimentati da decine o centinaia di celle) ha avuto un forte impatto sull'evolversi del BMS. Questi sistemi possono raggiungere anche una tensione nominale da 300 V a 400 V e qualsiasi cattiva gestione potrebbe innescare enormi problemi elettrici, è per questo che entra in gioco il BMS, il quale ottimizza le prestazioni dell'auto e garantisce la sicurezza del pacco batterie. [27] [28]

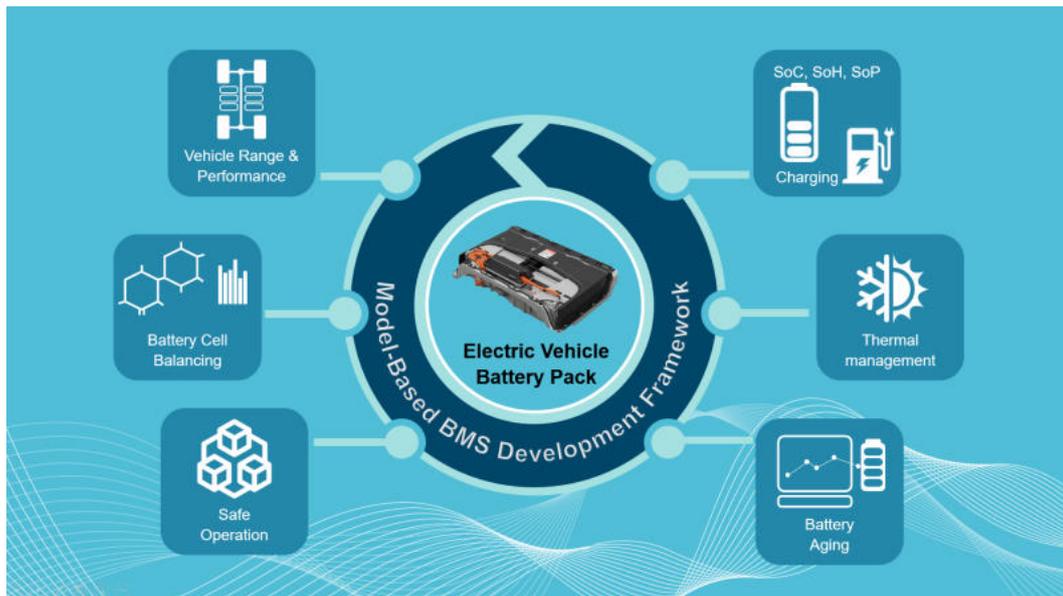


Figura 2.1: BMS [28]

2.2 Algoritmi di ottimizzazione per la ricarica di batterie

L'efficienza di un algoritmo per il BMS è valutata, non tanto per la misura diretta della tensione, corrente e temperatura delle celle interne, ma maggiormente per la stima di variabili interne come il SOC e il SOH.

- *“Battery management system for the charge mode of quickly exchanging battery package” [29]*: articolo del 2008, il quale presenta un esempio di BMS per una ricarica efficiente delle batterie degli autobus elettrici, basato su un modello di scambio delle informazioni di tipo Master/Slave; gli autori, Wen e Jiang, descrivono come lo slave (ogni cella della batteria) possa comunicare con il caricatore, attraverso un bus RS485, senza passare per il Master, rendendo più sicura e veloce la ricarica; inoltre, viene sottolineata l'importanza di una buona stima per il SOC e SOH, ossia due celle adiacenti tra loro devono avere valori di SOC molto simili in modo da non avere un deterioramento precoce della batteria.
- *“An SOC-Based Battery Management System for Microgrids” [30]*: si studia la modellazione e il controllo di un sistema di gestione della batteria, utilizzato in una microgrid in grado di avere un funzionamento sia bidirezionale che autonomo. L'articolo è strutturato in tre parti, di cui, nella prima, vi è un modello circuitale della batteria con la tensione a circuito aperto come funzione non lineare dello stato di carica (SOC), modellato in PSCAD; nella seconda si descrive lo sviluppo di strategie per il controllo a feedback ad anello chiuso del sistema di batterie, sia quando la microgrid è collegata alla rete con il controllo della potenza, sia quando è in modalità isola con il controllo della tensione e

della frequenza affinché la batteria agisca come un generatore sincrono; infine, nella terza parte si delinea come stimare correttamente il SOC attraverso misure di potenza e tensione della batteria.

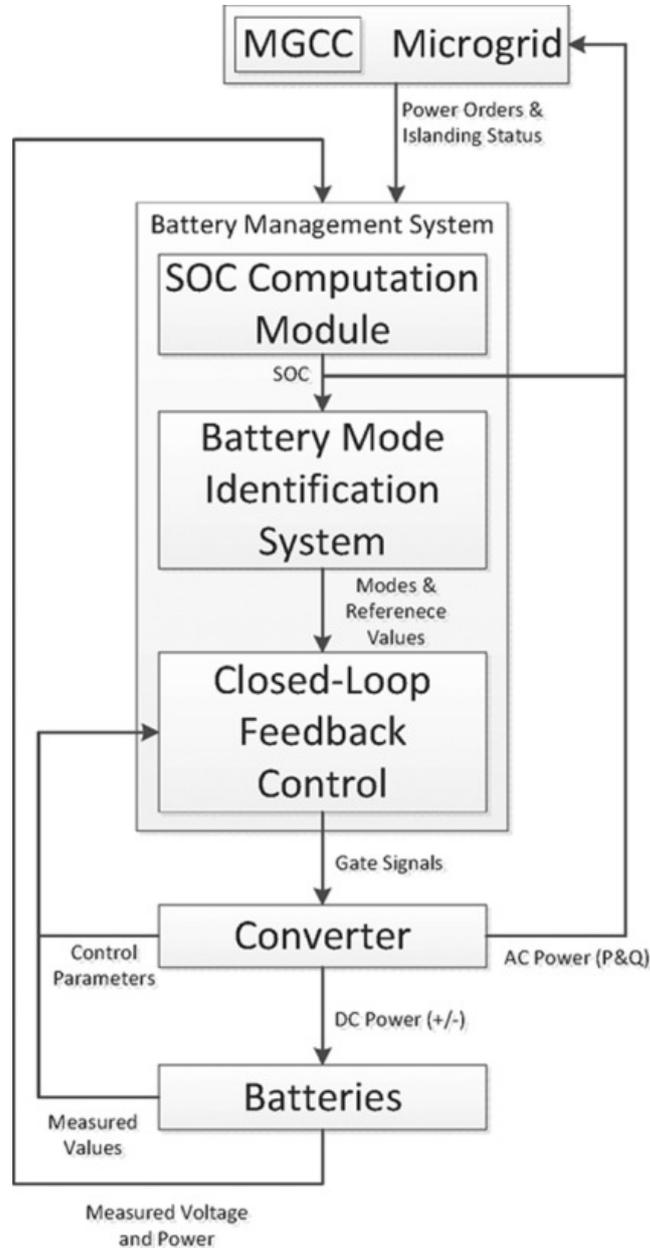


Figura 2.2: Configurazione BMS proposta [30]

Il BMS si rivela fondamentale oltre che per il posizionamento di più celle vicine, anche quando entrano in gioco più batterie collegate nella stessa microgrid (ad esempio auto elettrica e batteria di storage); in questa ottica il più delle volte, viene considerato un BMS che utilizza, poiché per dare priorità di carica o scarica serve più di una semplice scelta binaria, una “fuzzy logic”, in grado di renderlo più intelligente e capace di determinare le sue azioni su più parametri.

2.3 Dataset di consumo di veicoli elettrici

Gli articoli che seguiranno presentano un modo efficace su come gestire diverse batterie all'interno della smart grid:

- “Augmentation of battery management system in smart-grid operation using fuzzy logic” [31]: gli autori mettono in evidenza come l'uso di questa logica permetta più flessibilità e risultati migliori rispetto ad un tipo di logica booleana.
- “Advanced Battery Management and Diagnostic System for Smart Grid Infrastructure” [32]: in tale articolo il BMS monitora e gestisce ogni singola batteria diversificando i profili di carica per effettuare una diagnosi avanzata sui problemi presenti da correggere.

Nella tabella 2.1 seguente, analogamente a quanto fatto in tabella 1.1, sono descritte le caratteristiche rilevanti degli algoritmi raccolti precedentemente.

ALGORITMI	Anno pubblicazione	P.V.	Sistema V2G	Modelli per i carichi (elettrodomestici, etc.)	Stima SOC	Machine learning	Batteria di storage	Focus principale
Jiapeng Wen [29]	2008	No	No	No	✓	No	✓ (singola)	Ottimizzazione ricarica batterie
Z. Miao [30]	2013	No	No	No	✓	No	✓ (multipla)	Regolazione batteria in Smart Grid
S. Nahar [31]	2021	✓	No	No	✓	No	✓ (multipla)	Ottimizzazione gestione batterie
A. T. Elsayed [32]	2015	No	No	No	✓	No	✓ (multipla)	Gestione batterie con carichi

Tabella 2.1: Proprietà fondamentali riguardanti gli algoritmi descritti

2.3 Dataset di consumo di veicoli elettrici

Per avere una visione più ampia sul profilo di carica e di stato di connessione di una batteria, di seguito, si riportano alcune raccolte dati presenti in letteratura:

- RWTH Aachen University [33]: si analizza tale set di dati, raccolto in Irlanda su cinque veicoli elettrici. La scelta di questi ultimi non è casuale, ma viene effettuata in base ad alcune caratteristiche, ovvero sono della stessa marca e dello stesso tipo, hanno una capacità della batteria pari a 24 kWh, un'autonomia minima di 120 km e una massima di 160 km. I cinque diversi caricatori, a cui ognuna delle auto viene collegata o caricata, sono dello stesso tipo e offrono due modalità differenti di carica: monofase 16° /3,52W o monofase 8° /1,76W.
- ACN-data [34]: è un altro dataset, utile per la valutazione e implementazione di nuovi algoritmi, raccolto in collaborazione con PowerFlex, startup per la ricarica intelligente dei veicoli elettrici; è composto da 30000 sessioni di ricarica ed inoltre, è aperto al pubblico ed aggiornato giornalmente. Infatti, prendendo

in considerazione il periodo dal 18/08/2021 al 20/08/2021, in figura 2.3, si ha una rappresentazione chiara dell'energia ceduta ad un veicolo elettrico, per ogni ciclo di ricarica.

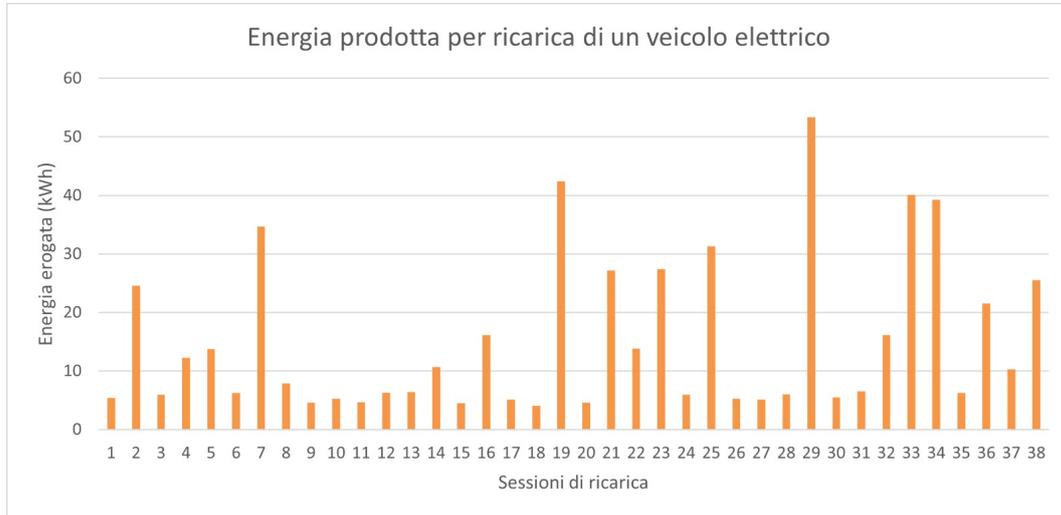


Figura 2.3: Grafico rappresentante l'energia erogata per sessione di ricarica (ACN-data)

- *ElaadNL [35]*: contiene circa il 90% di tutti i dati di ricarica pubblica di quasi tutto il paese; infatti, rappresenta il dataset con la quantità maggiore di sessioni di ricarica, tra quelli messi a confronto; esso sostiene l'uso dei dati analitici al fine di facilitare una transizione fluida verso la mobilità verde, difatti le analisi dei dati si concentrano sul comportamento di ricarica degli EV, sulle infrastrutture di ricarica e sull'impatto sul sistema energetico olandese.
- *Mendeley Data [36]*: tali dati riguardano la ricarica residenziale dei veicoli elettrici (EV) nei condomini, la quale può avere un impatto negativo sulla rete elettrica, ma rappresenta anche un grande potenziale di flessibilità energetica. Lo studio confronta due ipotesi di potenza di ricarica di 3,6 kW e 7,2 kW, deducendo che il potenziale di flessibilità aumenta con una maggiore potenza di ricarica; in figura 2.4 vengono mostrati, per ogni potenza, sia i profili sintetici che quelli flessibili di ricarica media giornaliera relativi al giorno 25/01/2019.

2.3 Dataset di consumo di veicoli elettrici

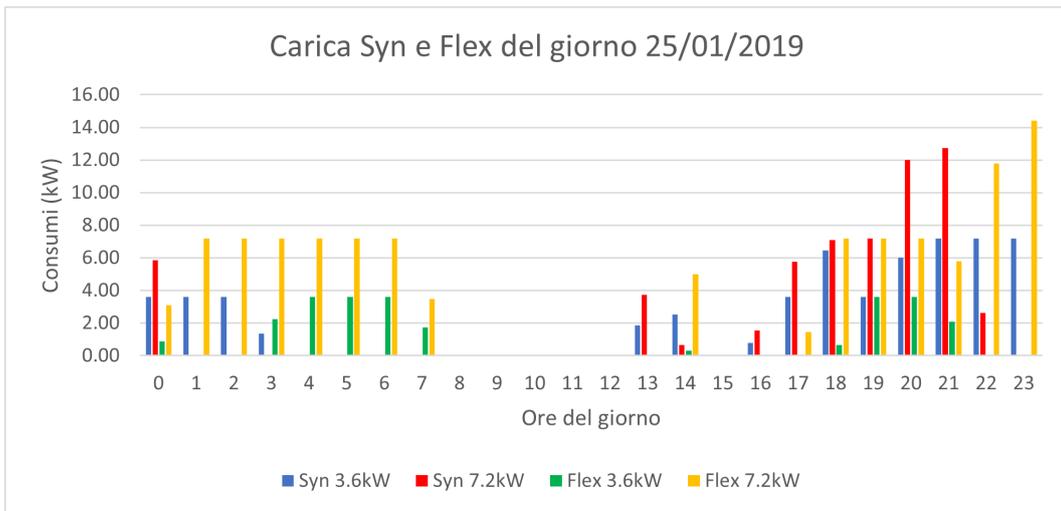


Figura 2.4: Sessioni di ricarica Syn e Flex per ogni potenza (Mendeley Data)

Nella tabella 2.2 , vengono elencati e messi a confronto dataset riguardanti l'utilizzo e il rendimento delle batterie: nel dettaglio si esplica la quantità precisa delle sessioni di ricarica di ognuno avvenute in media annualmente e la capacità totale delle batterie EV esaminate.

DATASET	Sessioni di ricarica	Consumi (Ordini di grandezza)	Dimensionamento batterie (capacità)	EV	Localizzazione Geografica
RWTH [33]	Circa 97000	Watt	24 kWh	✓	Irlanda
ACN-data [34]	30000	kWh	No	✓	USA
ElaadNL [35]	12 milioni	kWh	11/22 kWh	✓	Olanda
Mendeley Data [36]	6878	kW	36/75 kWh	✓	Norvegia

Tabella 2.2: Parametri, raccolti dai dataset valutati in precedenza, relativi al profilo delle batterie

Capitolo 3

Ambiente di Simulazione

3.1 Descrizione ambiente di lavoro

Il modello utilizzato nel progetto è stato sviluppato e codificato in ambiente Matlab e simulato nell'interfaccia di Simulink, di modo che l'utilizzo combinato di questi due software possa permettere una realizzazione semplificata dello schema costituente la Smart Grid.

Matlab (abbreviazione di Matrix Laboratory) è una piattaforma di programmazione e di calcolo numerico [37] : dal suo nome completo si intuisce come una delle principali capacità sia rappresentare le operazioni matematiche sotto forma di matrici, le quali offrono il vantaggio di poter studiare in maniera schematica tutte le componenti della smart grid.

Un'altra peculiarità di questo software, resa possibile grazie all'implementazione effettuata tramite linguaggio C, è l'uso di un linguaggio ad alto livello per la scrittura del codice, essenziale per permettere di semplificare codici ritenuti complessi, rendendoli più comprensibili.

La simulazione del modello utilizzato è avvenuta in particolare sulla piattaforma grafica di Simulink, mediante delle librerie opportune e comprensive di diversi blocchi, rappresentanti ognuno un componente della smart grid. Questo programma, partendo dalla codificazione in Matlab, crea uno schema concreto basato sulle interazioni delle parti costitutive del progetto e ne verifica, simulando in pochi secondi, il comportamento in tempo reale.

La scelta di continuare ad elaborare il codice in tale ambiente di lavoro deriva dalla possibilità di potersi servire di molteplici modelli preimpostati e presenti al suo interno, per descrivere la smart grid con esempi numerici reali, fornendo così una visione più chiara e tangibile del progetto. Difatti il modello studiato in questo elaborato prende spunto da un esempio fornito da MathWorks , nel quale viene illustrato il comportamento di una micro grid nell'arco di 24h: la giornata tipo prevede la generazione di energia solare nulla dalle ore 20h alle ore 4h e dalle ore 14h alle ore 15h la generazione di un picco di circa 5 kW; il consumo domestico solito giornaliero invece registra il picco di consumo alle 9h (6.5 kW), alle 19h e alle 22h (7.5 kW); infine, vi è presente una batteria di accumulazione in grado di regolare ed equilibrare lo scambio di energia, fornendo all'abitazione una corrente aggiuntiva,

necessaria a compensare l'insufficienza di potenza della micro rete ed assorbendo quella in eccesso, quando il carico elettrico consuma una potenza minore rispetto a quella massima della micro rete. [38]

3.2 Tool alternativi

La simulazione di un sistema così complesso come la smart grid, si può effettuare non solo attraverso la piattaforma MATLAB, ma anche con l'ausilio di software ad hoc e tool che mirano a semplificare alcuni meccanismi presenti, facilitandone l'utilizzo.

- LabVIEWTM [39]

Questo software, grazie ad un sistema di misurazione e acquisizione a basso costo, riesce ad analizzare efficientemente il comportamento di segnali elettrici sui sistemi di energia rinnovabile; inoltre, altri suoi vantaggi risiedono nella rilevazione dei parametri con precisione e memorizzazione automatica dei dati in un tempo finito e nel controllo a distanza. Lo strumento simula anche quando vi è una condizione di guasto, poiché è munito di un allarme in grado di rilevare la sovratensione, la sottotensione e le variazioni di frequenza.

- OpenDSS [40]

Strumento completo per la simulazione dei sistemi elettrici di potenza, principalmente per i sistemi di distribuzione dell'energia elettrica, sui quali vengono eseguite tutte le analisi nel dominio della frequenza. Un suo punto di forza è l'espandibilità indefinita e il suo continuo aggiornarsi e modificarsi, in modo da soddisfare le esigenze future relative alla smart grid, alla modernizzazione della rete e alla ricerca sulle energie rinnovabili. Inoltre, OpenDSS nel corso del tempo è divenuto un potente strumento di simulazione utilizzato in tutto il settore utility, nei laboratori di ricerca e nelle università, in grado di formare studenti e ingegneri della distribuzione.

- Mosaik [41]

Framework di co-simulazione in tempo reale, il quale consente, essendo completamente open source, di riutilizzare e integrare facilmente simulatori esistenti e modelli di simulazioni, strategie di controllo e nuovi componenti, indipendentemente dal linguaggio di programmazione in cui sono implementati.

Mosaik fornisce tale funzionalità per la definizione specifica dello scenario, creando scenari Smart Grid su larga scala, ovvero con ciò si intende la distribuzione e la connessione di molteplici entità risultanti distribuite su più processi di simulazione. Infatti, tra le caratteristiche più forti di tale piattaforma risiede la capacità di risolvere la gestione di scenari complessi, attraverso la creazione di altri semplici, ma flessibili. Inoltre, utilizza la sintassi semplice di Python e la grande flessibilità

per supportare da poche fino a decine di migliaia di entità, include alcuni semplici simulatori, compreso un legame a PYPOWER e uno scenario dimostrativo.

Le simulazioni, basate sulla libreria SimPy (piattaforma di simulazione a eventi discreti), sono utilizzate per coordinare, mediante un'unità di tempo comune, l'esecuzione di tutti i simulatori, i quali possono avere una dimensione del passo diverse e variabili.

Capitolo 4

Realizzazione del modello Matlab

4.1 Componenti della Smart Grid sviluppata

In tale elaborato viene proposto un piano di ottimizzazione della gestione dell'energia domestica su un modello base di smart grid, micro griglia composta da un elemento capace di generare energia attraverso l'uso di fonti rinnovabili, quale il pannello fotovoltaico, da un elemento puramente passivo in grado solamente di assorbire energia, come l'edificio e da due batterie, una di accumulo (BES) e una di un veicolo elettrico (BEV), le quali alternano entrambi le fasi di generazione e assorbimento sotto determinate condizioni.

4.1.1 Pannello fotovoltaico

La radiazione elettromagnetica del sole, o anche detta irradianza, produce energia elettrica mediante l'utilizzo di un pannello fotovoltaico. Solitamente la potenza generata da esso non segue l'andamento dell'irradianza a causa di alcuni fattori determinanti, quali temperatura, umidità, condizione metereologiche e resistenza ohmica del materiale usato, tuttavia contrariamente a quanto accade realmente, in tal caso si suppone una produzione di energia massima data dalla diretta proporzionalità tra potenza e irradianza.

I valori di potenza esaminati e presi in considerazione, appartenenti al dataset Solar panel [42] contenuto nella raccolta Umass, si riferiscono al giorno 31/12/2015; tale raccolta calcola minuto per minuto la generazione di energia di 50 pannelli disposti sul tetto. Caricando il dataset nell'interfaccia di Matlab, mediante il comando load, si ottiene una chiara rappresentazione della potenza solare, mostrata di seguito (figura 4.1).

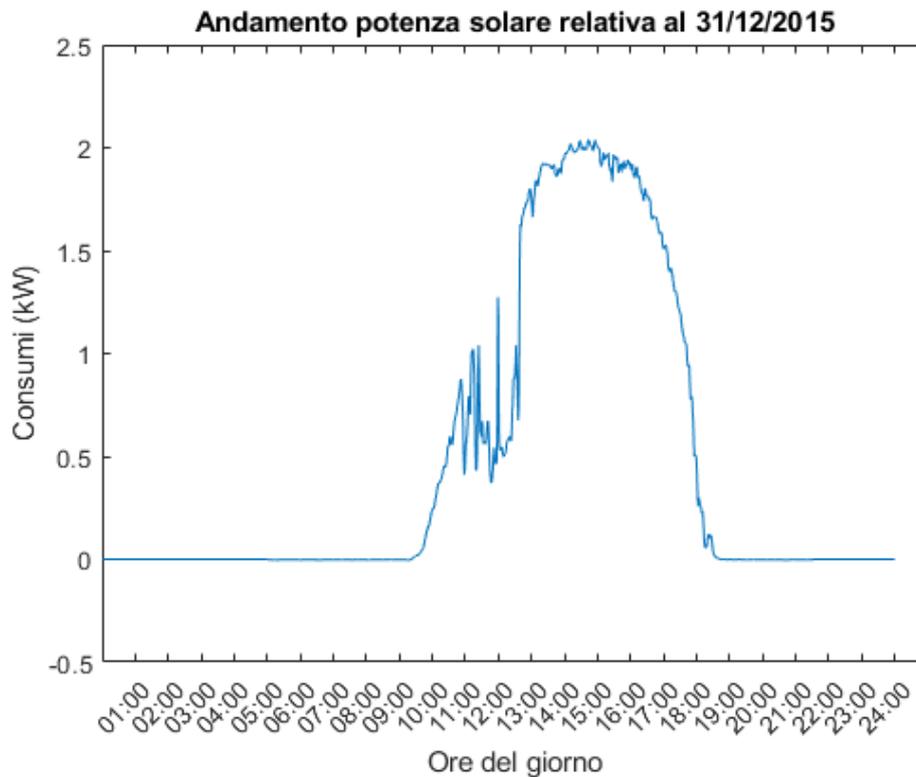


Figura 4.1: Grafico potenza solare

4.1.2 Carico residenziale

Il progetto di questo elaborato mira ad ottimizzare i costi energetici e lo scambio di potenza tra la griglia e l'abitazione, per tale motivo è necessario studiare e servirsi di dati relativi ai consumi domestici giornalieri.

Nel capitolo 1.4 sono passati in rassegna alcuni dataset, tra i quali quello utilizzato nelle simulazioni, ovvero LPG. In quest'ultimo viene studiato il comportamento energetico di una famiglia composta da quattro persone, di cui due bambini e due figure adulte, una a casa e l'altra a lavoro; alla stregua dei dati riguardanti la generazione dell'energia tramite pannelli solari, anche in questo dataset viene adottato un intervallo di acquisizione minuto per minuto e per ogni membro della famiglia, rendendolo in questo modo abbastanza accurato. Analogamente a quanto accade per il fotovoltaico, attraverso il medesimo comando e caricando il dataset di riferimento, si realizza il grafico reale dei consumi riguardanti il giorno 01/01/2016 (figura 4.2).

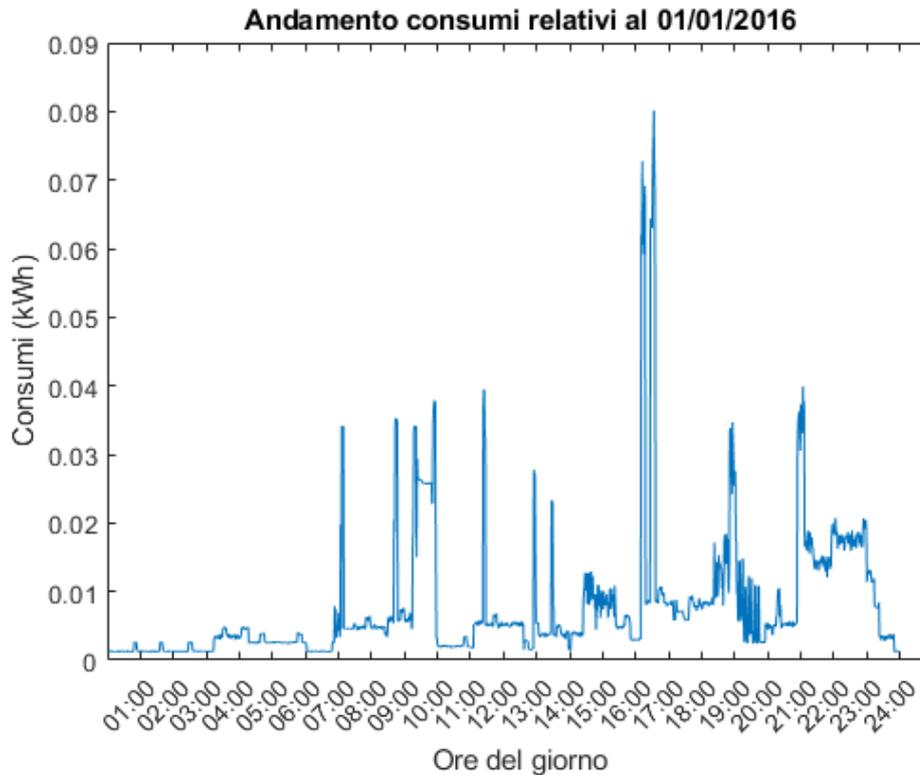


Figura 4.2: Grafico totale dei consumi di ogni membro della famiglia

4.1.3 BES(Battery energy storage)

La batteria di storage è uno dei componenti fondamentali delle micro griglie intelligenti, poiché in fase di carica riesce ad immagazzinare tutta l'energia in eccesso dal pannello fotovoltaico e, viceversa, con la scarica aiuta ad alimentare l'intera abitazione abbattendo in parte i costi di stoccaggio dell'energia.

In questa parte del lavoro si effettua un dimensionamento delle batterie sia a livello fisico che a livello energetico; si definiscono tutte quelle costanti e variabili che potranno essere cambiate per verificare e validare l'algoritmo, ovvero andando a settare la corrente di ingresso e uscita della batteria, la capacità totale, la corrente massima in entrata e in uscita e lo stato di carica iniziale minimo e massimo.

```

1 SOC_min_bes=20;
2 SOC_max_bes=80;
3 SOC_init_bes=50;
4 SoC_current_bes=zeros(1,length(t)+1);
5 SoC_current_bes(1)=SOC_init_bes;
6 I_bes=0; %Ampere
7 C_Ah_bes=30; %capacit totale della batteria di storage
8 V=220; %voltaggio
9 I_max_bes=10;

```

Codice 4.1: Inizializzazione costanti BES

4.1.4 BEV(Battery electric vehicle)

La batteria del veicolo elettrico utilizza il sistema V2G per scambiare dinamicamente energia con tutta la rete e con tutte le infrastrutture collegate ad essa. Per tale scopo questa batteria è stata progettata allo stesso modo di quella di storage, fungendo infatti da batteria tampone. Seguono le righe di codice sulla determinazione e inizializzazione delle variabili, così come avviene per il BES; in particolare tra queste bisogna prestare l'attenzione su SoC_current_bev, avente ovviamente la stessa funzionalità di SoC_current_bes, in quanto è definita come vettore di lunghezza "t+1" affinché si possa avere un reso conto dei valori nell'arco dell'intera giornata.

```
1 SOC_min_bev=10;
2 SOC_max_bev=90;
3 SOC_init_bev=80;
4 SoC_current_bev=zeros(1,length(t)+1);
5 SoC_current_bev(1)=SOC_init_bev;
6 I_bev=0; %Ampere
7 C_Ah_bev=77; %capacita' totale della batteria di storage
8 I_max_bev=5;
```

Codice 4.2: Inizializzazione costanti BEV

4.2 Implementazione codice

La logica della microgrid, mediante una simulazione ciclica data dall'uso del costrutto del for, scansiona e valuta minuto per minuto la potenza ed inoltre, decide se caricare oppure scaricare le due batterie presenti nel sistema. L'utilizzo del vettore dei tempi rappresenta un metodo differente rispetto al modello di riferimento dal quale si è partiti per la realizzazione di tale tesi, in cui, con un blocco temporale Simulink, veniva calcolato lo scorrere del tempo con il metodo dei fasori.

L'implementazione del codice si può suddividere in due parti: nella prima viene effettuato un calcolo delle stime di energia rimanenti di ogni singolo componente, le quali serviranno nella seconda parte per valutare le correnti e gli stati di carica di entrambe le batterie; l'ultima operazione effettuata nella seconda parte riguarda il bilanciamento delle potenze, definendo in questo modo l'energia effettiva proveniente dalla rete.

```
1 for i=1 : length(t)
2
3     P_bes(i)=V*I_bes/1000;
4     P_bev(i)=V*I_bev/1000;
5
6     I_bev=Alg_BEV(P_sun(i),Er_sun,P_home(i),Er_home,Er_bev,P_bev(i),P_bes(i),V,
7         Er_bes,I_max_bev,SOC_max_bev,SOC_min_bev,SoC_current_bes(i),SoC_current_bev(
8         i));
9     P_bev(i)=V*I_bev/1000;
```

```

8     I_bes=Alg_BES(P_sun(i),Er_sun,P_home(i),Er_home,Er_bev,P_bev(i),P_bes(i),V,
          Er_bes,I_max_bes,SOC_max_bes,SOC_min_bes,SoC_current_bes(i),SoC_current_bev(
          i));
9     P_bes(i)=V*I_bes/1000;
10    SoC_current_bes(i+1)= SOC_update(SoC_current_bes(i),C_Ah_bes,60,I_bes);
11    SoC_current_bev(i+1)= SOC_update(SoC_current_bev(i),C_Ah_bev,60,I_bev);
12
13    P_grid(i)=-P_sun(i) - P_home(i) - P_bes(i) - P_bev(i) ;
14
15    E_sun(i)=sum(P_sun(1:i))/24;
16    E_home(i)=sum(P_home(1:i))/24;
17    E_grid(i)=sum(P_grid(1:i))/24;
18    if (P_grid(i)>0) Epos_grid=Epos_grid + P_grid(i)/24; end
19    if (P_grid(i)<0) Eneg_grid=Eneg_grid + P_grid(i)/24; end
20    E_bes(i)=((C_Ah_bes*V*(SoC_current_bes(i)-SOC_init_bes))/100)/1000;
21    E_bev(i)=((C_Ah_bev*V*(SoC_current_bev(i)-SOC_init_bev))/100)/1000;
22
23    Er_sun=S_en_solar [sum(P_sun(1:i))/24]; %stima energia rimanente(ancora da
          utilizzare)
24    Er_home=S_consumi_home [sum(P_home(1:i))/24]; %stima energia che verr assorbita
          fino a fine giornata
25    Er_bes=((C_Ah_bes*V*SoC_current_bes(i))/100)/1000; %stima energia rimanente
          nella batteria di storage
26    Er_bev=((C_Ah_bev*V*SoC_current_bev(i))/100)/1000; %stima energia rimanente nel
          serbatoio (divido per 1000 per trasformare da W a kW)
27
28 end

```

Codice 4.3: Ciclo per il calcolo delle variabili

4.2.1 Aggiornamento SOC (SOC_update)

Per il calcolo del SOC si prende come riferimento la corrente in carica o scarica e si aggiorna il valore della capacità attuale, successivamente attraverso una semplice proporzione si calcola lo stato di carica della batteria. Nel caso in cui la batteria si scarica, per convenzione, viene utilizzata la corrente negativa.

```

1 Function SoC_f = SOC_update(SoC_init,C_Ah,clock,I)
2
3 charge = clock*I/3600; %Calcolo di quanta carica esce dalla batteria
4 SoC_f = SoC_init + (charge/C_Ah)*100;
5
6 end

```

Codice 4.4: Funzione per il calcolo del SOC

4.2.2 Algoritmo(Alg_BES)

L'algoritmo riguardante la batteria BES prevede la suddivisione in azioni in base alla potenza puntuale di quel minuto: se la potenza generata è strettamente positiva ($P_{sun}+P_{home}+P_{ev}<0$), allora indicherà un possibile accumulo di energia nella batteria di storage quando essa è al di sotto della soglia massima prefissata ($SOC_{es}<SOC_{max}$); invece, quando è negativa, si valuta se in quel momento della giornata l'energia prevista da consumare sia di più di quella da assorbire ($E_{home}+E_{ev}>E_{sun}+E_{es}$), in modo da scaricare la batteria e prelevare da quest'ultima la corrente quando si trova al di sopra della soglia minima ($SOC_{es}>SOC_{min}$).

```

1 function I = Alg_BES(Psun,Esun,Phome,Ehome,Eev,Pev,Pes,V,Ees,I_max,SOC_max,SOC_min,
   SOCes,SOCev)
2 % BES
3 Ia=abs((Psun+Phome+Pev)*1000/V);
4 if Psun+Phome+Pev<0           % potenza del pannello maggiore di quella dei consumi
5     if SOCes>SOC_max %tranne se si trova gi al di sopra della soglia massima
6         I=0;
7     else %carica
8         I=min(I_max,Ia); % la batteria usa la sua potenza massima fino a compensare
           i consumi
9     end %pannello, casa e veicolo elettrico
10 else
11     if SOCes<SOC_min
12         I=0;
13     else %scarica
14         if Esun+Ees>Ehome+Eev %Se la stima dell'energia nella batteria e del
           fotovoltaico maggiore di quella che servir per EV e home
15             I=-min(I_max,Ia); %scarica
16         else
17             k=min(1, 5*(SOCes-SOC_min)/100);
18             I=-min(I_max,k*Ia); %scarica
19         end
20     end
21 end
22 end

```

Codice 4.5: Algoritmo carica/scarica BES

Di seguito un'ulteriore spiegazione dell'algoritmo, attraverso il diagramma di flusso.

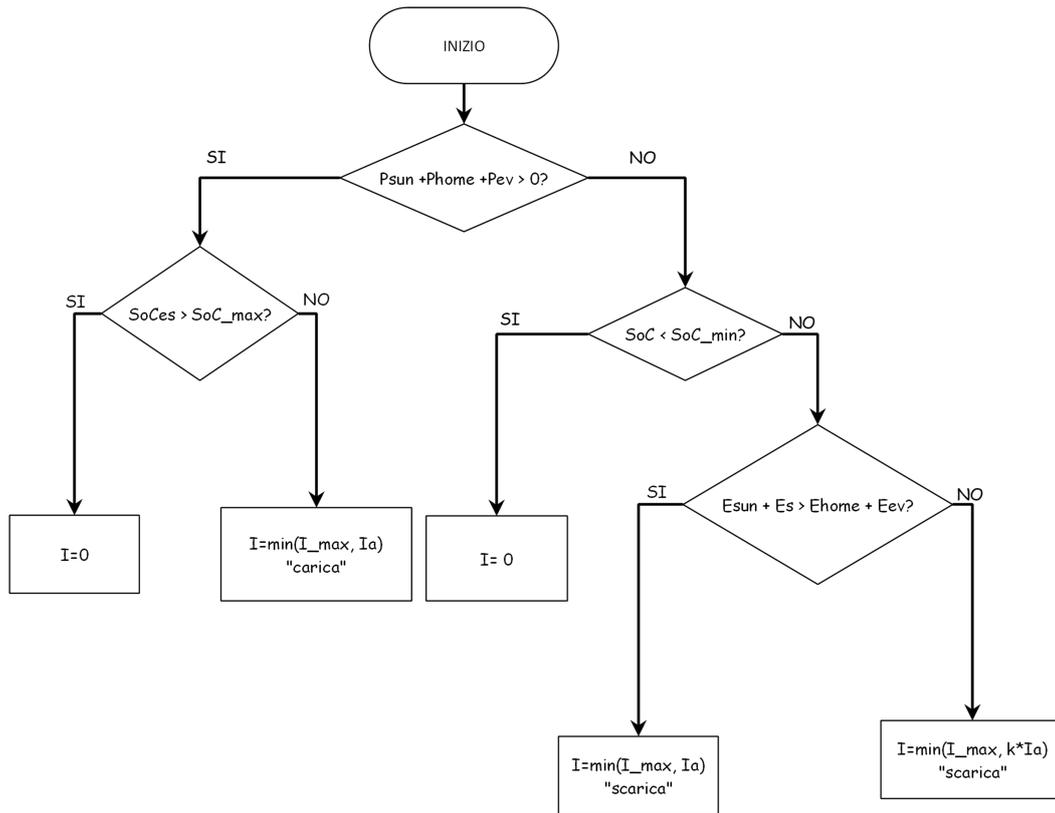


Figura 4.3: Diagramma di flusso algoritmo BES

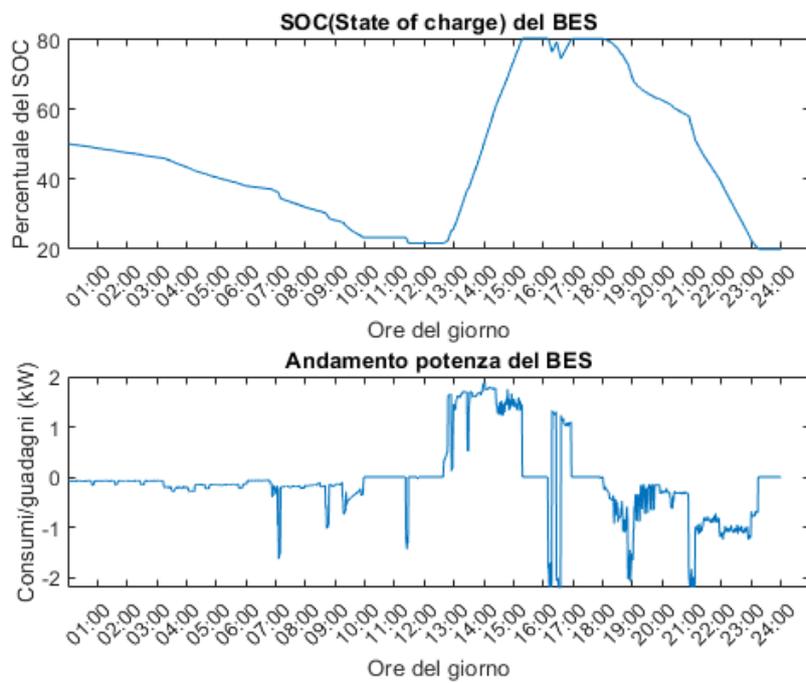


Figura 4.4: SOC e andamento potenza del BES

4.2.3 Algoritmo BEV(Alg_BEV)

L'algoritmo inerente alla batteria del veicolo elettrico segue la stessa logica attuata per la batteria BES, modificando soltanto i valori della corrente di entrata e di uscita della batteria. Come si evince dal grafico della figura 4.4, in cui è raffigurato l'andamento del SOC e della potenza del BEV, dalle ore dieci la batteria si carica, ciò è dovuto al pannello fotovoltaico che in quell'arco di tempo riesce a fornire più energia a tutti i componenti della griglia (vedasi la figura 4.1 per una maggiore chiarezza). Inoltre, bisogna soffermare l'attenzione dalle ore 13:00, in cui l'andamento del BEV rimane costante, probabilmente poiché la casa tende ad assorbire corrente dal BES e non dalla batteria del veicolo, nel caso dovesse servire carica la mattina.

```

1 Function I = Alg_BEV(Psun,Esun,Phome,Ehome,Eev,Pev,Pes,V,Ees,I_max,SOC_max,SOC_min,
   SOCes,SOCev)
2 % EV
3 Ia=abs((Psun+Phome)*1000/V);
4 k=min(1,5*(SOC_max-SOCev)/100);
5 if Psun+Phome<0 %se la potenza del pannello maggiore di quella dei consumi
6     if SOCev>SOC_max %tranne se si trova gi al di sopra della soglia massima
7         I=0;
8     else %carica
9         I=min(I_max,Ia); % carico EV
10    end
11 else
12     I=0;
13 end
14 end

```

Codice 4.6: Algoritmo carica/scarica BEV

Per comprendere meglio la costruzione di tale algoritmo, di seguito è graficato il diagramma di flusso di riferimento.

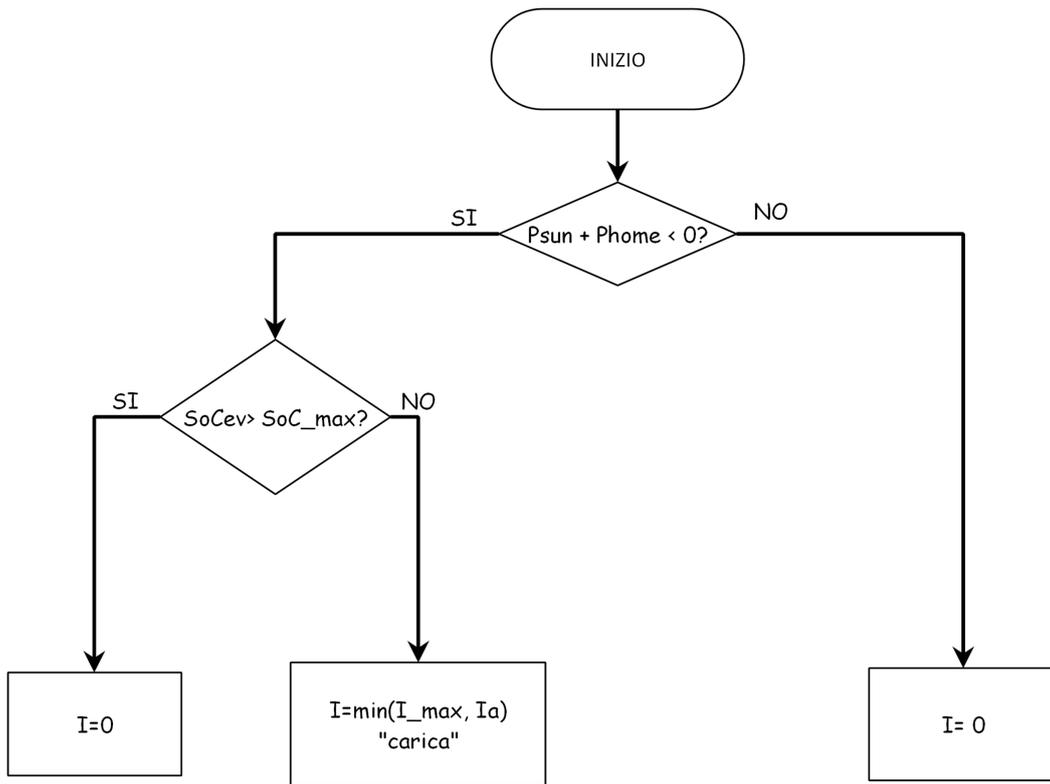


Figura 4.5: Diagramma di flusso algoritmo BEV

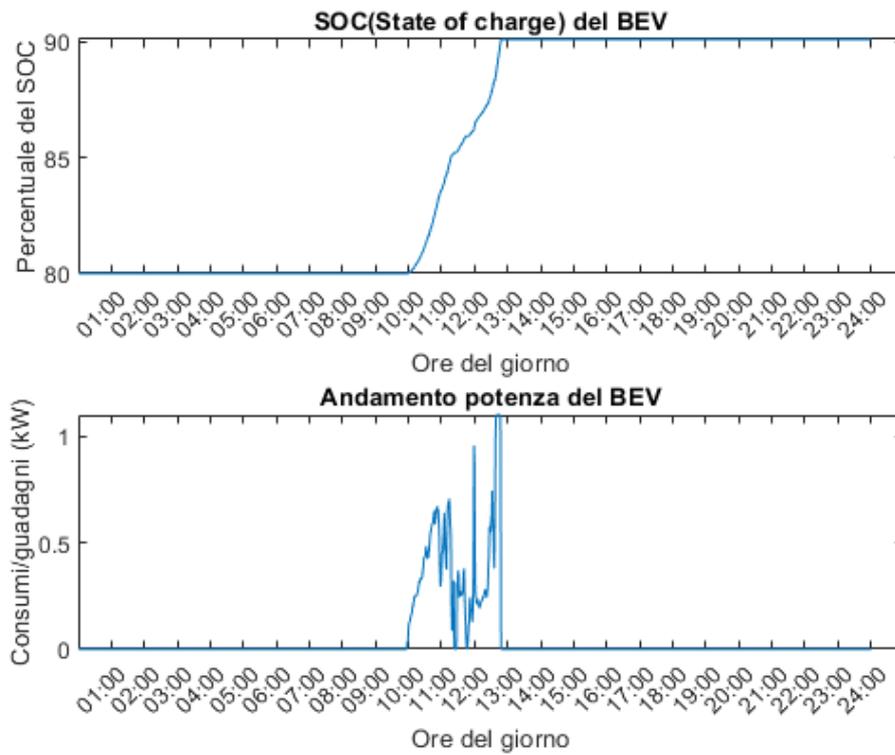


Figura 4.6: SOC e andamento potenza del BEV

Capitolo 5

Simulazioni

L'obiettivo è quello di esaminare e vedere cosa accade nel momento in cui tutti i componenti della smart grid interagiscono tra di loro, affinché si raggiunga l'autonomia energetica, ovvero venga prelevata minor energia dalla rete nazionale.

Le simulazioni prevedono la combinazione di tutti i possibili valori che vi possono essere ogni giorno nell'arco di 24h; in particolare, in questo caso non sono state effettuate tutte le possibilità, bensì ne sono state analizzate diciotto, in base al variare di quattro parametri, ossia aumentando o diminuendo il fattore di dimensionamento del pannello, la corrente massima del BES e del BEV e la capacità di quest'ultimo, come riportato nella tabella sottostante (tabella 5.1).

Simulazioni	I_max BES (A)	I_max BEV (A)	Capacità BEV (Ah)	PV (α fattore dimensionamento)
1	10	5	50	1
2	10	5	50	0.6
3	10	5	50	0.3
4	10	5	75	1
5	10	5	75	0.6
6	10	5	75	0.3
7	10	5	100	1
8	10	5	100	0.6
9	10	5	100	0.3
10	5	10	50	1
11	5	10	50	0.6
12	5	10	50	0.3
13	5	10	75	1
14	5	10	75	0.6
15	5	10	75	0.3
16	5	10	100	1
17	5	10	100	0.6
18	5	10	100	0.3

Tabella 5.1: *Tabella riassuntiva possibili configurazioni*

5.1 Simulazione 1° gennaio

In questo capitolo si raccoglieranno le simulazioni relative al singolo giorno 1/01/2016, le quali, come spiegato precedentemente, saranno soltanto diciotto per la scelta dei parametri effettuata. I risultati prodotti da ognuna di tali configurazioni daranno un resoconto grafico delle potenze istantanee di tutti i componenti e uno dell'energia ceduta e consumata o immagazzinata da essi; da quest'ultimi grafici nel tempo si ha una visione ampia di cosa accade, di quanto si consuma, di chi si trova in modalità ricarica grazie all'energie negative che indicano l'energia che viene ceduta al carico.

La tabella 5.2 sottostante (rappresentante i valori ottenuti dall'ultima acquisizione delle ore 23.59) fornisce una panoramica dei risultati numerici delle energie e dello stato di carica del BES e del BEV emersi dalle diciotto simulazioni.

Simulazioni	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
1	28.220	1.557	5.364	-3.807	-1.992	1.112	-27.579	19.8	90.1
2	28.220	-9.391	0.000	-9.391	-2.015	1.102	-16.547	19.5	90.0
3	28.220	-17.318	0.000	-17.318	-1.982	0.930	-8.274	20.0	88.5
4	28.220	0.154	4.193	-4.039	-1.986	1.668	-27.579	19.9	90.1
5	28.220	-10.883	0.000	-10.883	-1.980	1.664	-16.547	20.0	90.1
6	28.220	-17.286	0.000	-17.286	-1.995	0.930	-8.274	19.8	85.6
7	28.220	-1.184	2.856	-4.039	-1.991	2.207	-27.579	19.8	90.0
8	28.220	-12.228	0.000	-12.228	-1.982	2.204	-16.547	20.0	90.0
9	28.220	-17.312	0.000	-17.312	-1.984	0.930	-8.274	19.9	84.2
10	28.220	1.080	6.057	-4.978	-1.806	1.119	-27.579	22.6	90.2
11	28.220	-12.261	0.000	-12.261	-1.980	1.112	-13.789	20.0	90.1
12	28.220	-18.654	0.000	-18.654	-1.984	0.363	-5.516	19.9	83.3
13	28.220	-0.263	4.903	-5.165	-1.811	1.661	-27.579	22.5	90.1
14	28.220	-10.881	0.000	-10.881	-1.981	1.664	-16.547	20.0	90.1
15	28.220	-17.298	0.000	-17.298	-1.990	0.930	-8.274	19.8	85.6
16	28.220	-1.613	3.552	-5.165	-1.816	2.206	-27.579	22.5	90.0
17	28.220	-12.230	0.000	-12.230	-1.981	2.204	-16.547	20.0	90.0
18	28.220	-17.278	0.000	-17.278	-1.998	0.930	-8.274	19.7	84.2

Tabella 5.2: Tabella riassuntiva con 18 simulazioni

Per capire quale delle diciotto configurazioni sia la migliore, in figura 5.1 viene riepilogato il bilancio energetico della rete, evidenziando per ogni simulazione la quantità esatta di energia ceduta e assorbita.

Da questo istogramma si evincono alcune considerazioni rilevanti, ovvero quando il pannello fotovoltaico è dimensionato con un fattore pari a 1, vi è una parte di energia che viene ceduta alla rete, al contrario negli altri due casi di dimensionamento di α , vi è solamente quella fornita dalla rete. Inoltre, dalla tabella 5.2 che ha prodotto il grafico 5.1, si può notare come a fine giornata la batteria di accumulo BES risulti quasi sempre scarica (SOC intorno al 20%) e ,al contrario, quella BEV quasi sempre carica (SOC intorno al 90%)

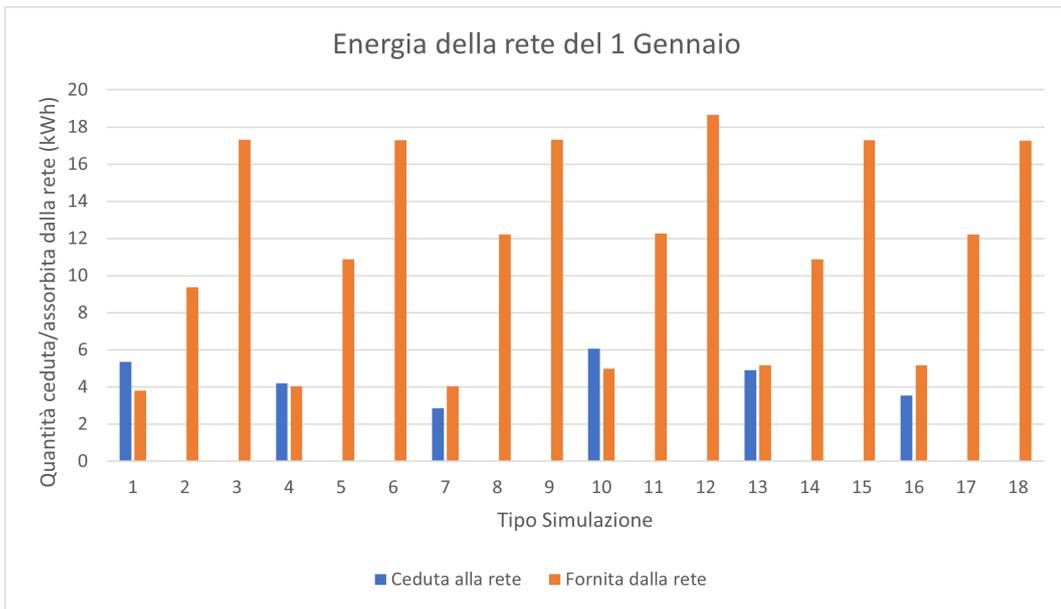


Figura 5.1: Istogramma energia ceduta/assorbita

5.1.1 Grafici delle potenze e delle energie

Qui di seguito i grafici delle potenze delle 18 simulazioni effettuate.

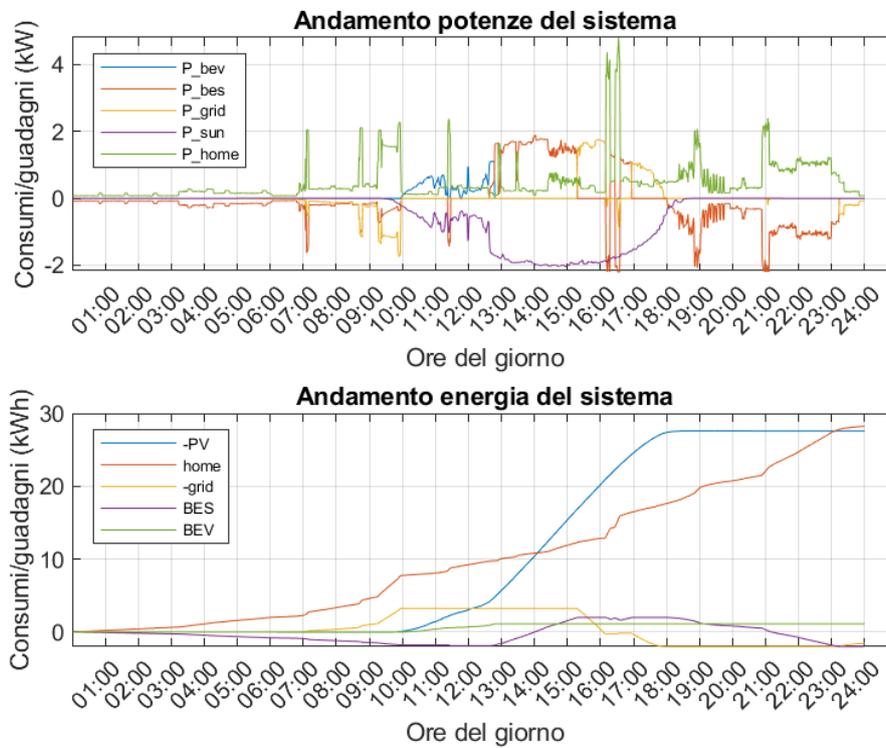


Figura 5.2: Simulazione 1

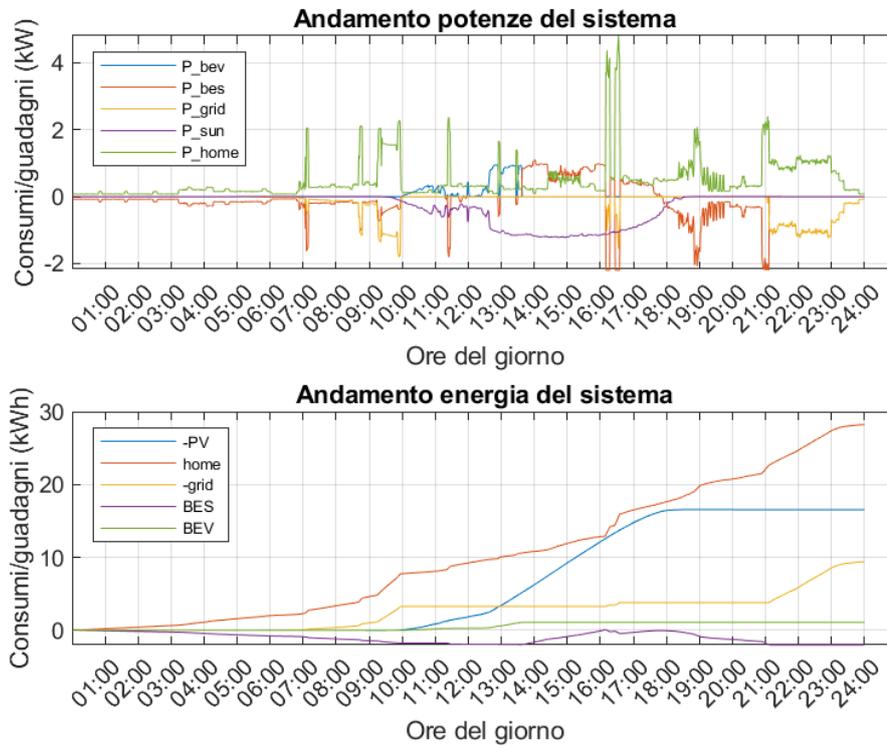


Figura 5.3: *Simulazione 2*

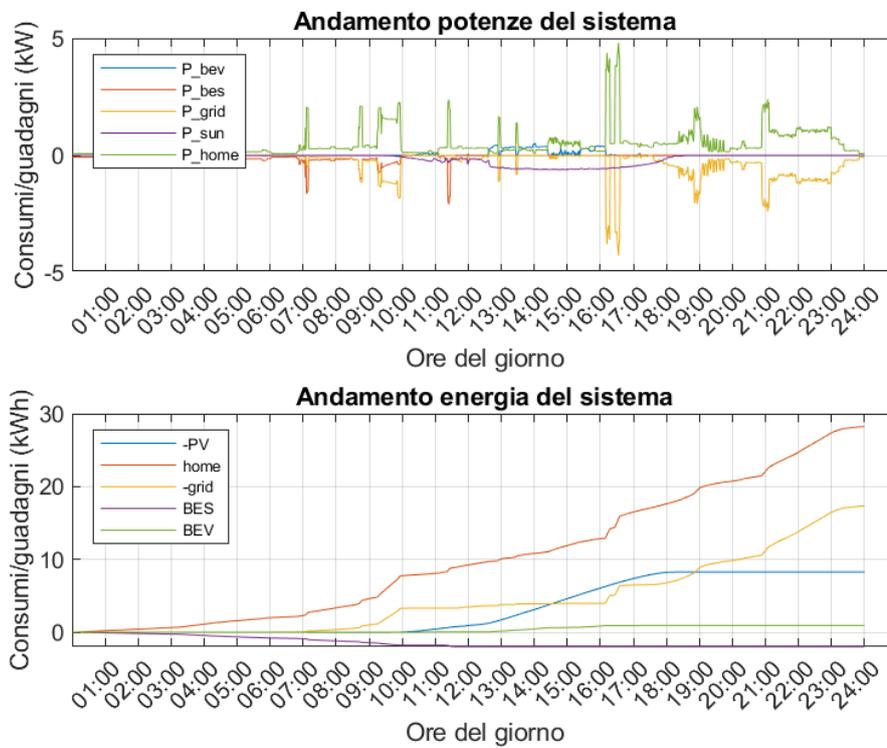


Figura 5.4: *Simulazione 3*

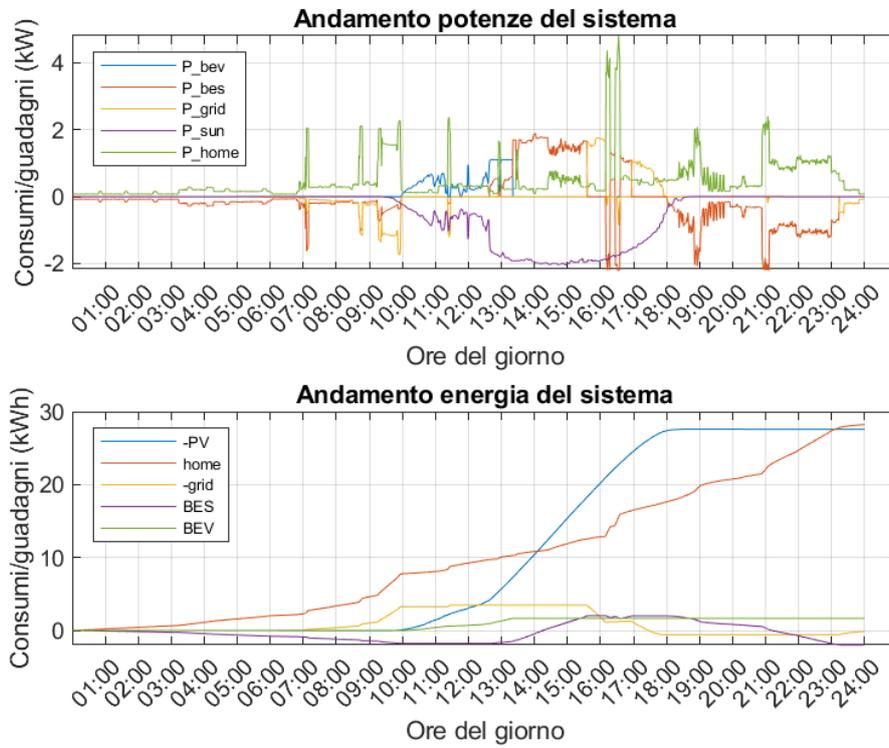


Figura 5.5: Simulazione 4

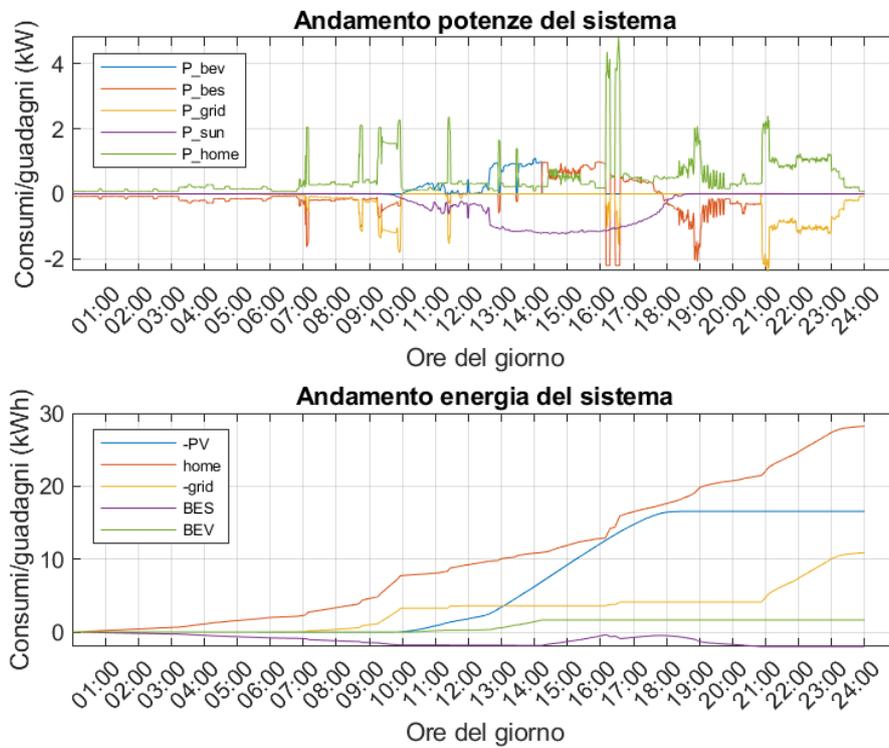


Figura 5.6: Simulazione 5

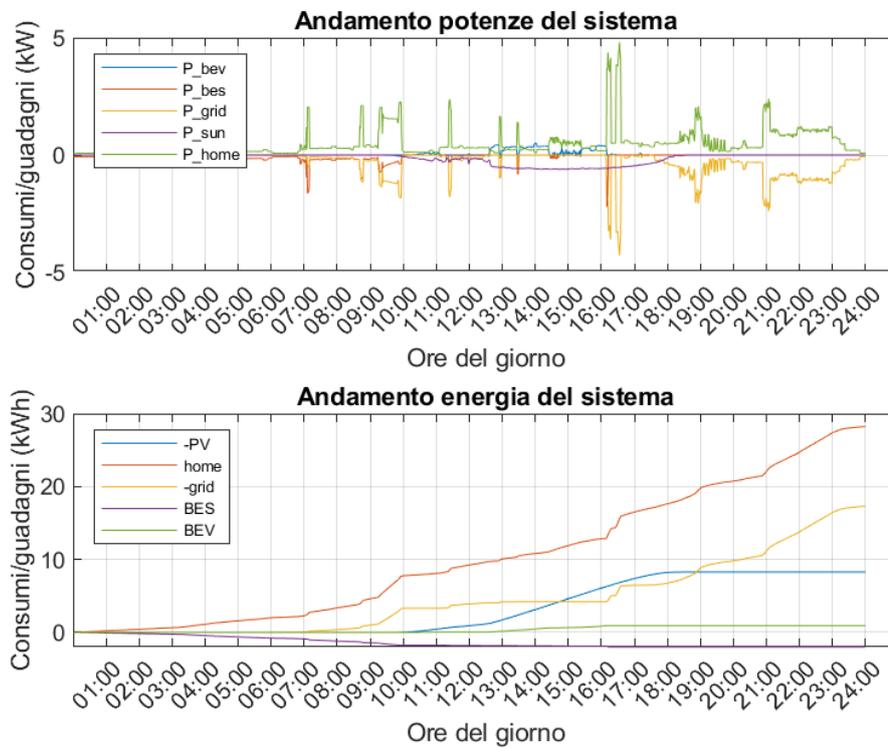


Figura 5.7: Simulazione 6

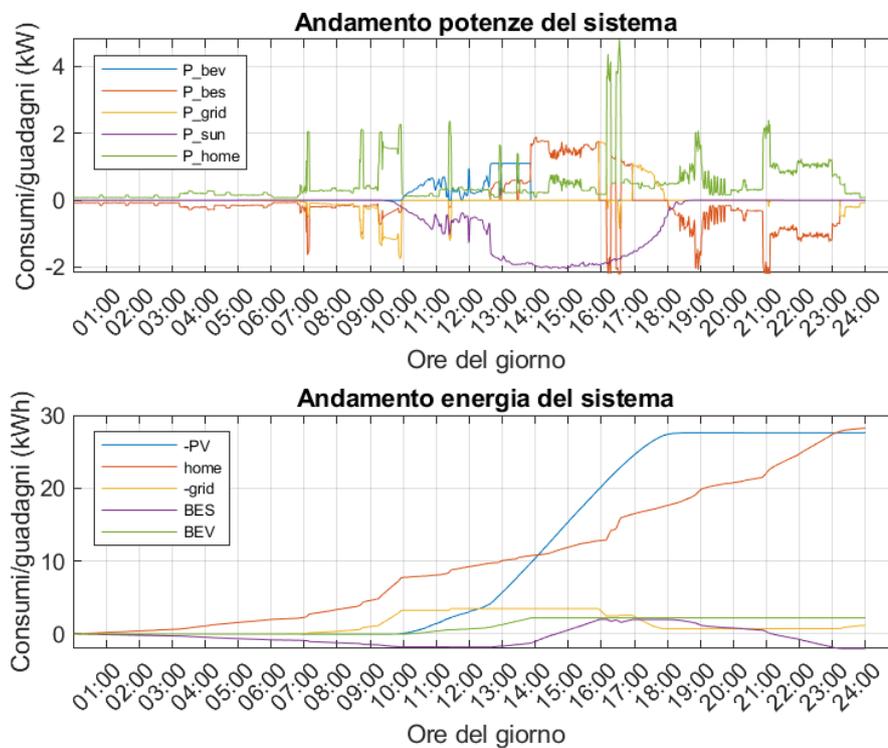


Figura 5.8: Simulazione 7

5.1 Simulazione 1° gennaio

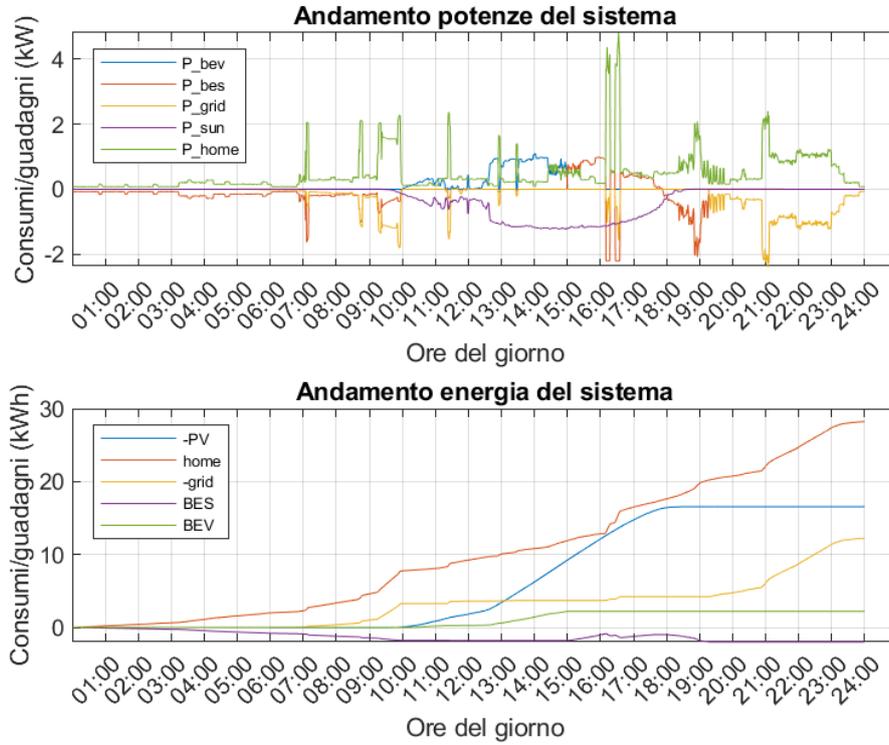


Figura 5.9: Simulazione 8

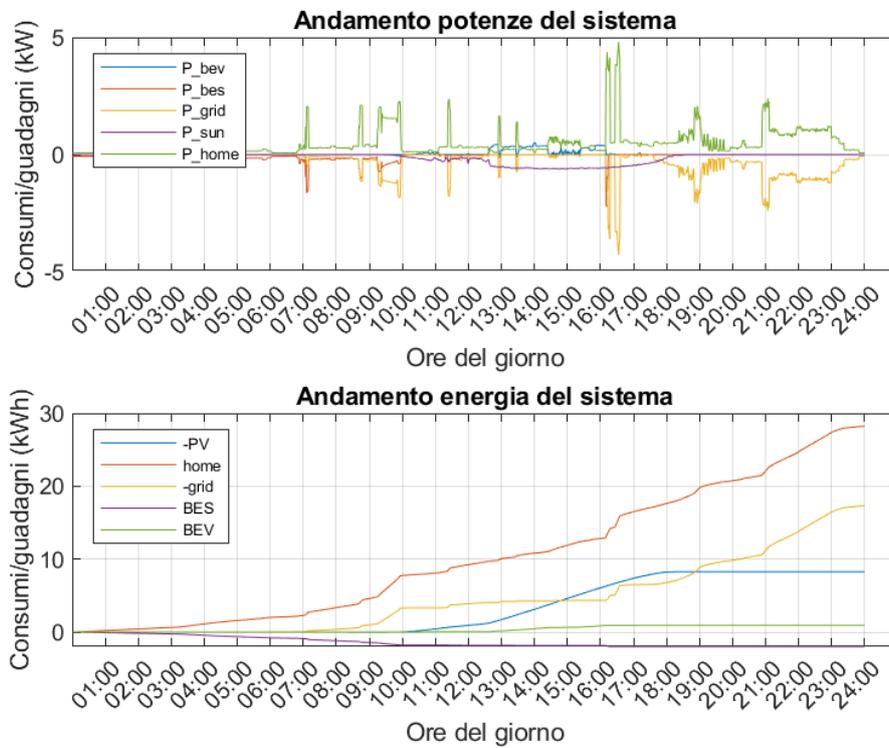


Figura 5.10: Simulazione 9

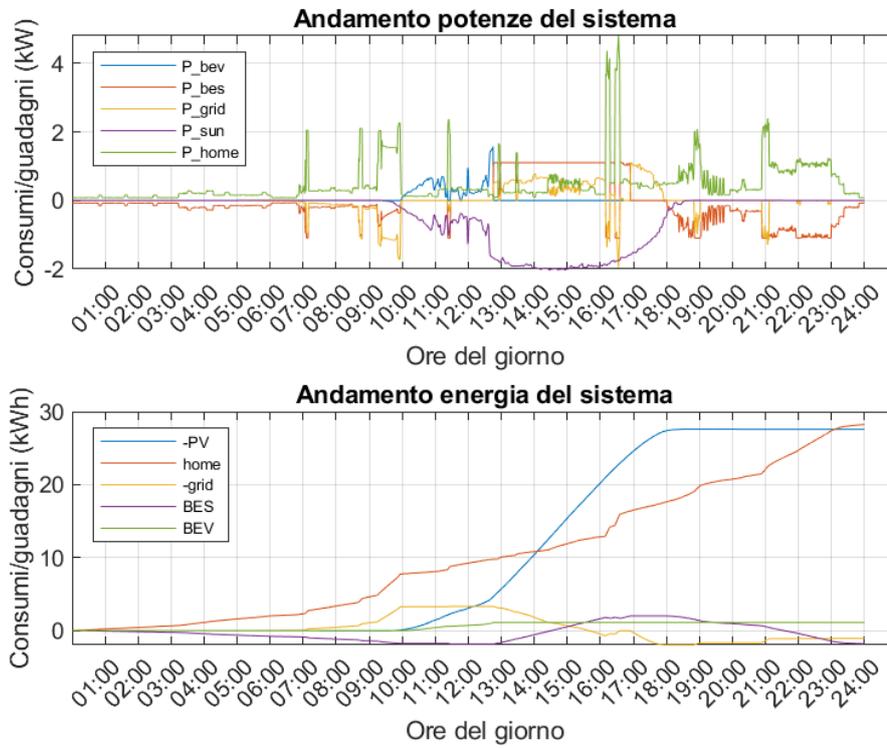


Figura 5.11: *Simulazione 10*

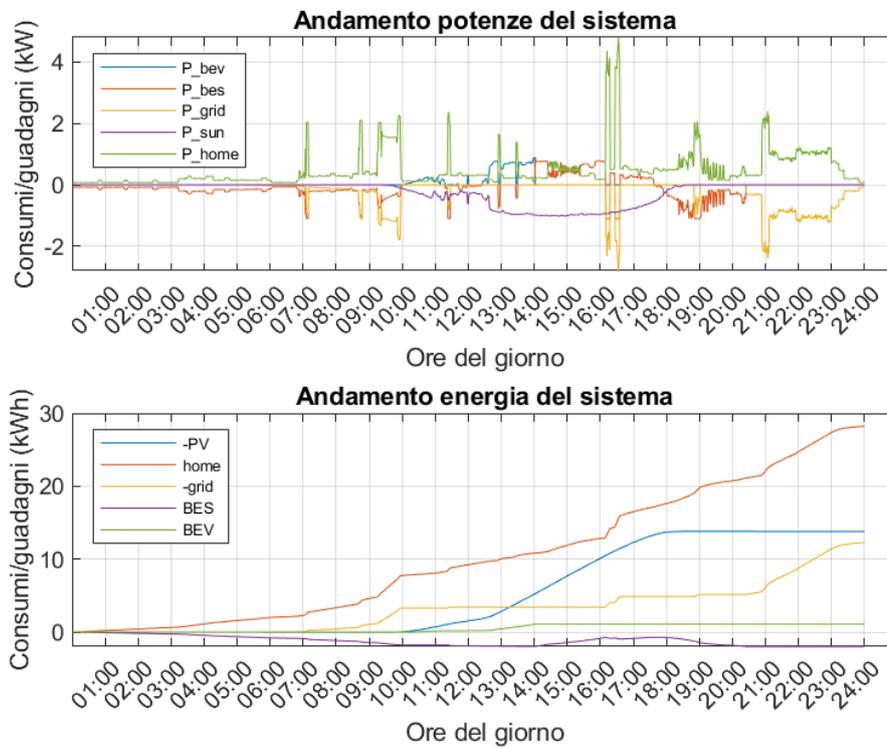


Figura 5.12: *Simulazione 11*

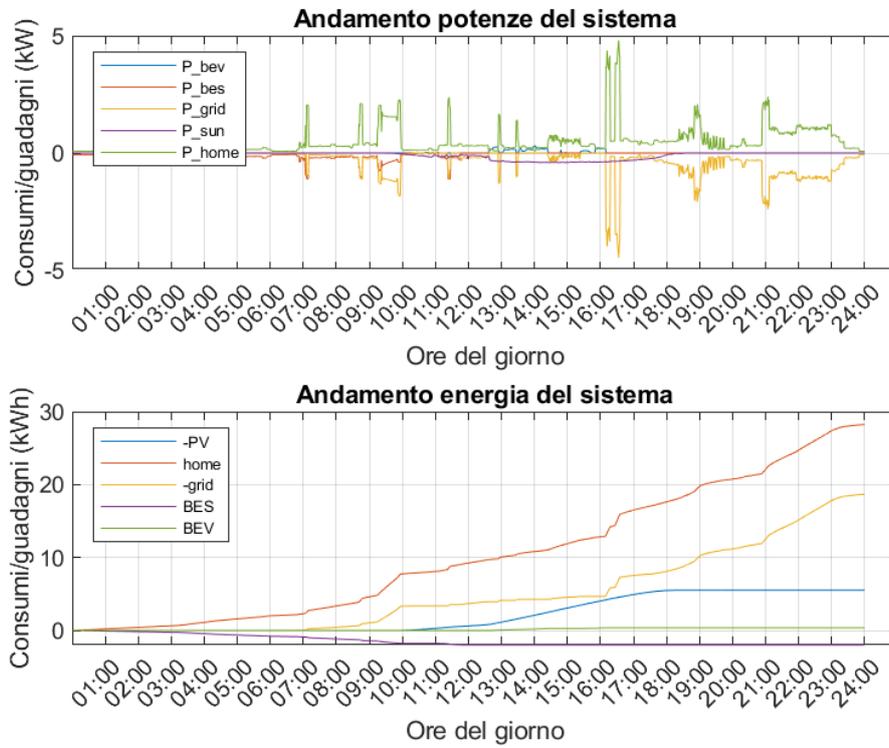


Figura 5.13: Simulazione 12

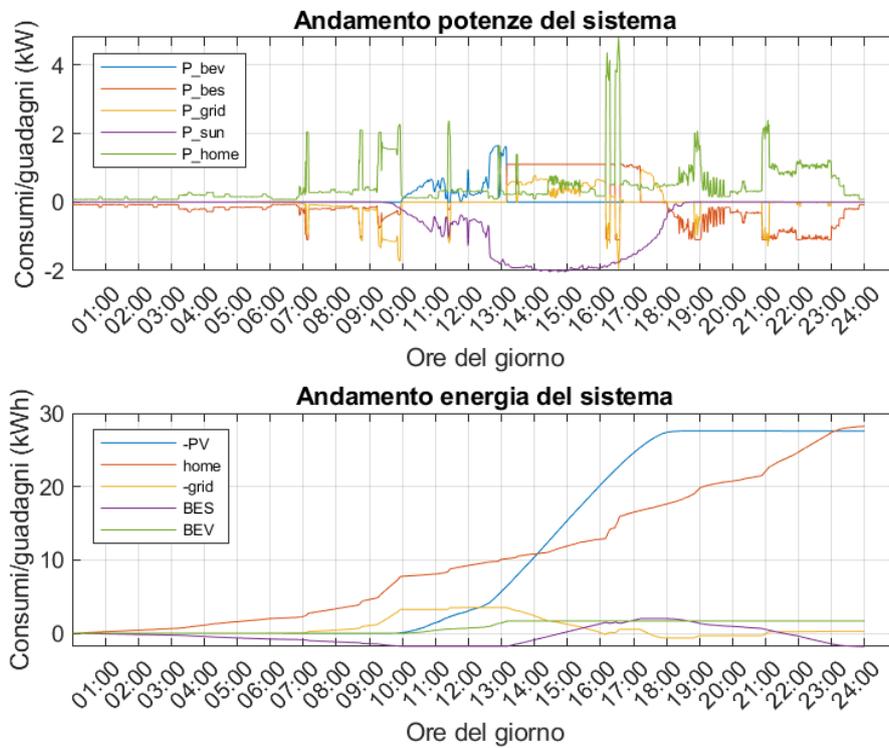


Figura 5.14: Simulazione 13

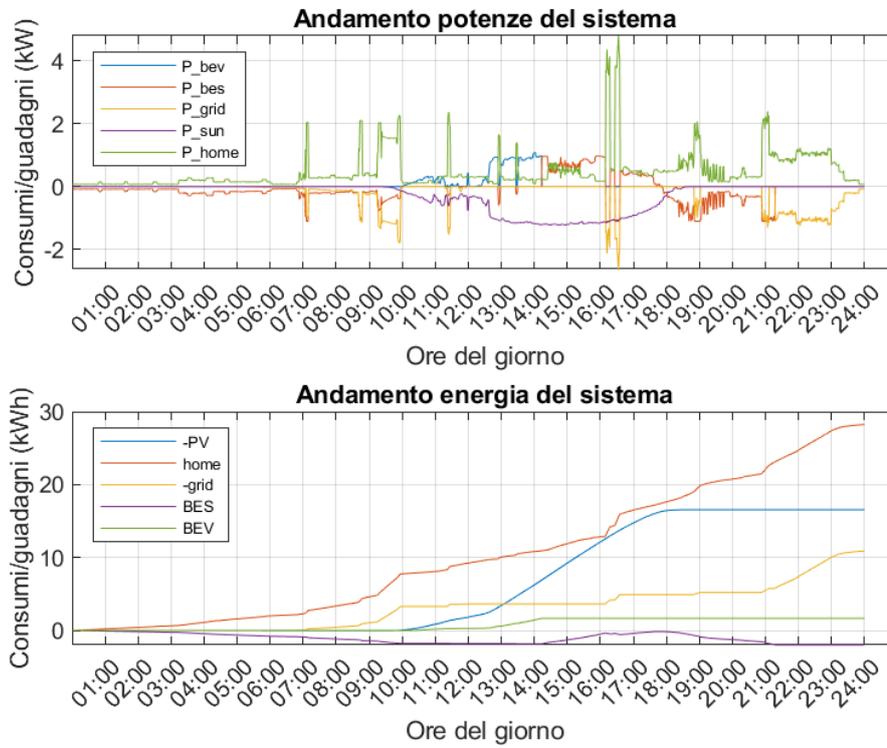


Figura 5.15: *Simulazione 14*

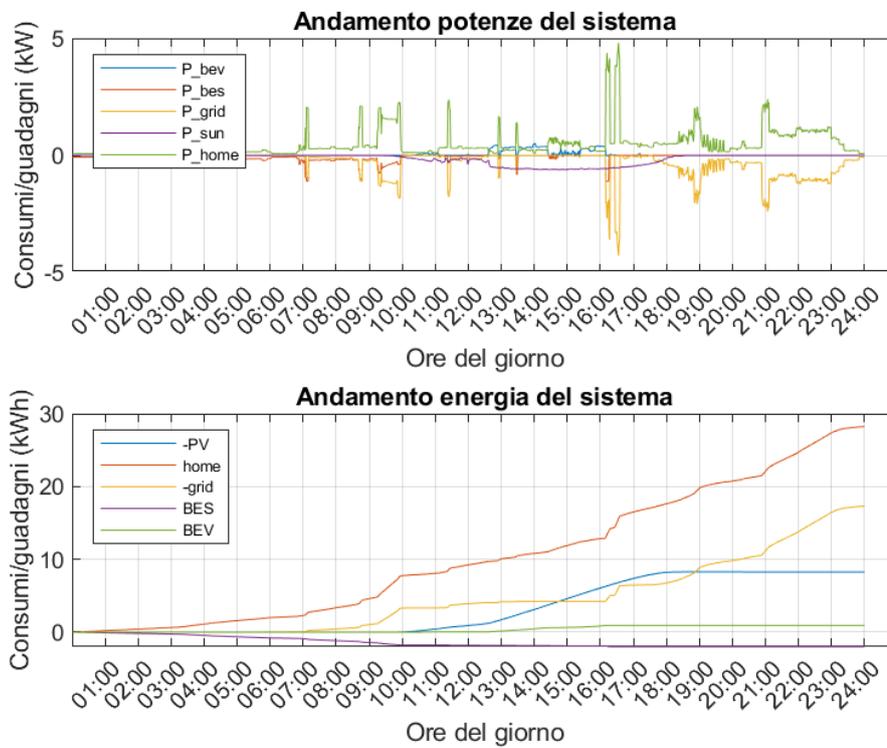


Figura 5.16: *Simulazione 15*

5.1 Simulazione 1° gennaio

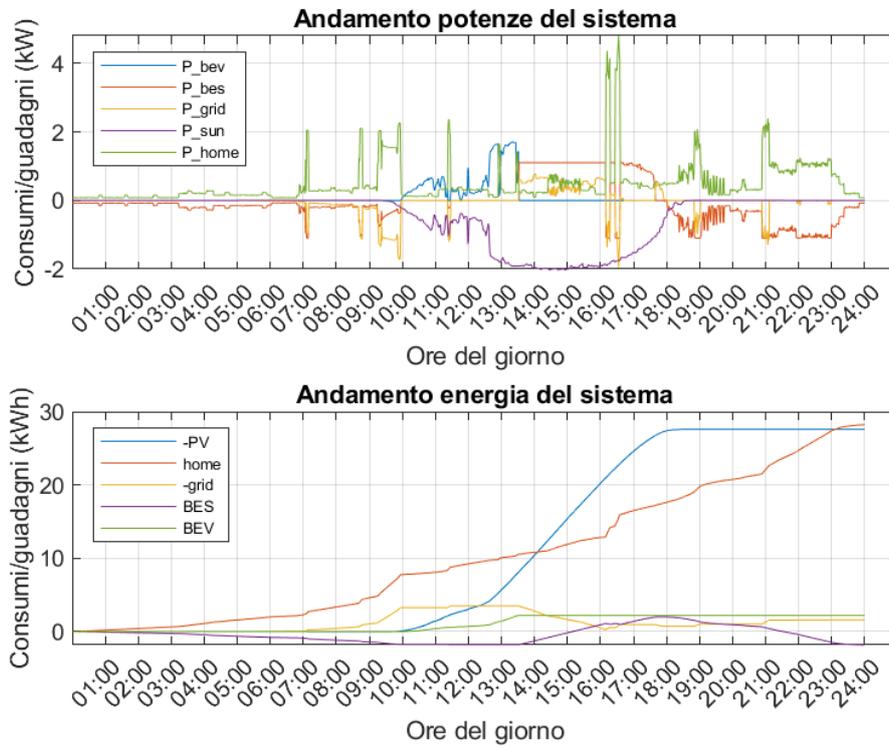


Figura 5.17: Simulazione 16

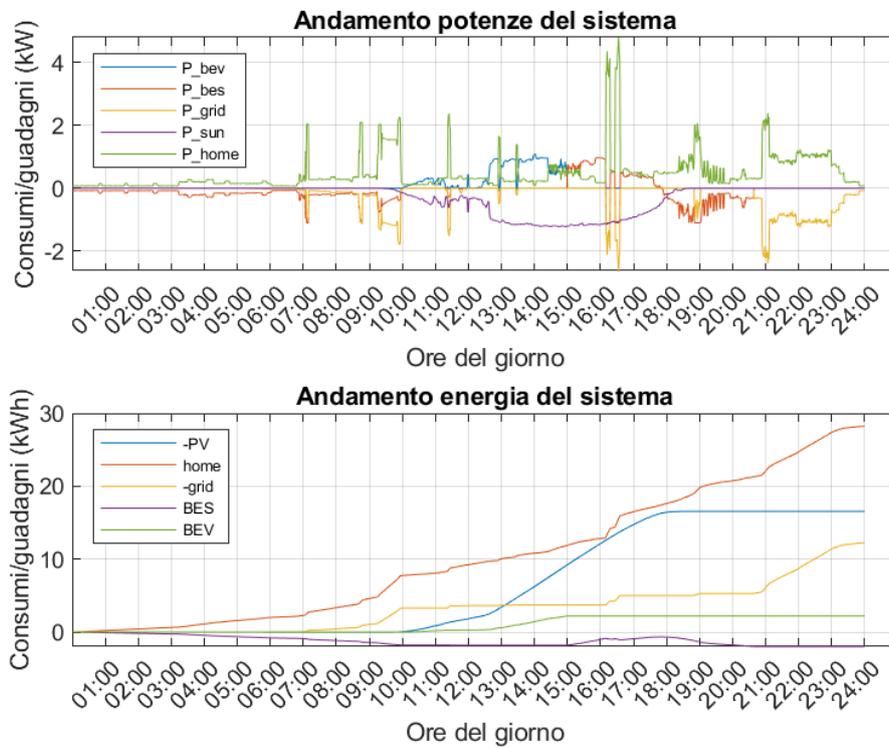


Figura 5.18: Simulazione 17

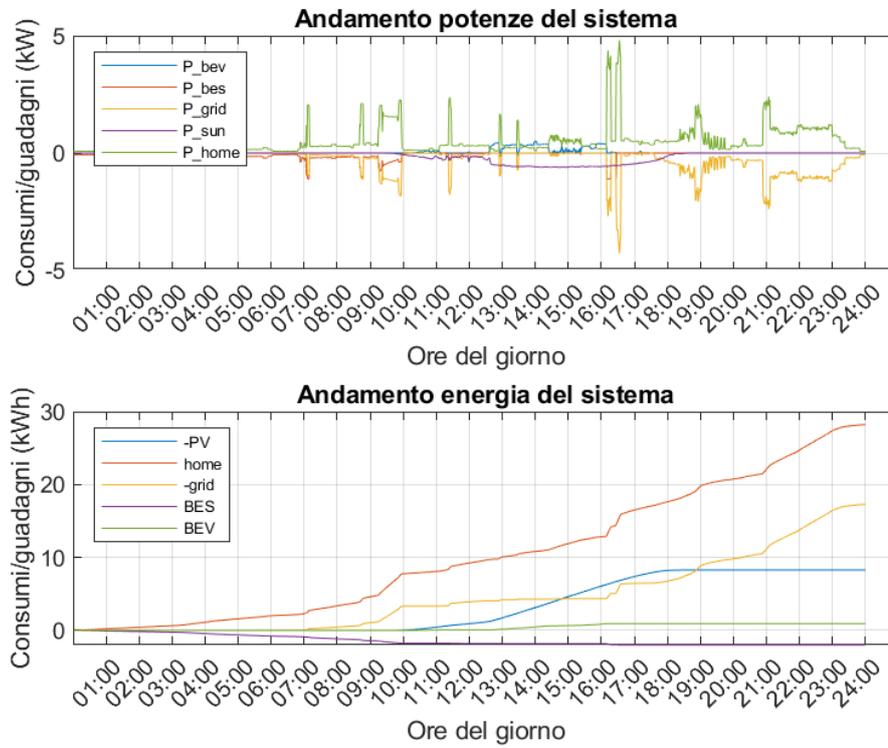


Figura 5.19: Simulazione 18

5.2 Simulazione di dieci giorni:1/01/2016 - 10/01/2016

Nel grafico mostrato in figura 5.1, si nota come le simulazioni 1, 4 e 7 rappresentino statisticamente le configurazioni più adatte all'algoritmo implementato; in questa sezione verrà preso in considerazione il caso n°4 per simulare dieci giorni, variando il carico residenziale. In particolare, si avranno i seguenti parametri:

- Corrente massima BES = 10
- Corrente massima BEV = 5
- Capacità BEV = 75
- α (fattore di dimensionamento pannello solare) = 1

Per ogni giorno, le simulazioni produrranno valori numerici raggruppati nella tabella 5.3:

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	28.220	0.154	4.193	-4.039	-1.986	1.668	-27.579	19.91	90.11
02-gen	25.508	2.893	8.308	-5.415	-1.980	1.652	-27.579	20.00	90.01
03-gen	28.780	-3.374	4.899	-8.273	-0.786	1.657	-27.579	38.06	90.04
04-gen	37.280	-8.898	0.000	-8.898	-1.981	1.660	-27.579	19.98	90.06
05-gen	31.306	-2.891	3.198	-6.089	-1.995	1.660	-27.579	19.78	90.06
06-gen	44.169	-16.305	2.083	-18.388	-1.777	1.664	-27.579	23.05	90.09
07-gen	20.999	1.347	4.632	-3.285	0.426	1.668	-27.579	56.44	90.11
08-gen	45.247	-16.843	5.583	-22.426	-1.986	1.656	-27.579	19.91	90.03
09-gen	27.390	-0.732	7.394	-8.126	-1.288	1.659	-27.579	30.44	90.05
10-gen	50.871	-28.173	4.542	-32.715	0.293	1.661	-27.579	54.42	90.06

Tabella 5.3: *Output simulazione di dieci giorni*

L'istogramma in figura 5.20 constata come mediamente la configurazione 4 si adatti a vari scenari energetici, tranne per alcuni giorni in cui l'energia ceduta dalla rete supera i 20 kWh.

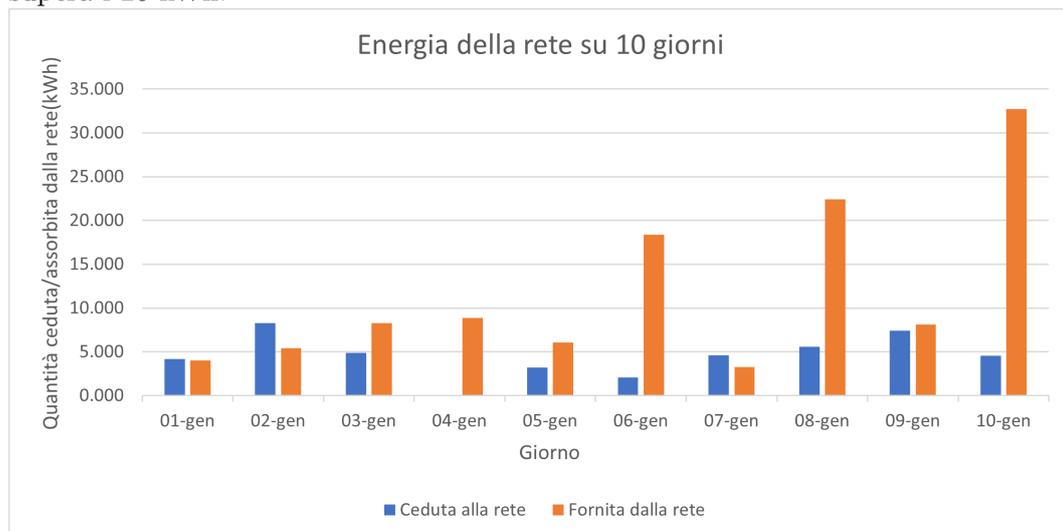


Figura 5.20: *Istogramma energia ceduta/assorbita*

Osservando l'istogramma appena graficato in 5.20 si rileva come nei giorni 1-2-7/01 l'energia ceduta alla rete sia poco maggiore di quella fornita da quest'ultima, rispetto ai giorni 6-8-10/01 in cui questa tendenza si inverte; diversamente da tutti gli altri, il 4/01 è l'unico giorno in cui non vi è produzione di energia eccessiva che viene ceduta alla rete.

Dalla tabella 5.3, invece, si evidenzia che nei giorni 7/01 e 10/01 la batteria di accumulo a fine giornata è mediamente carica (SOC al 55% circa); tornando a visionare l'istogramma si può confermare quanto appena detto: nel giorno 10/01 l'algoritmo non gestisce al meglio l'energia dato che quella fornita dalla rete è molto elevata, ovvero non viene presa dalla batteria per alimentare il sistema.

5.2.1 Grafici

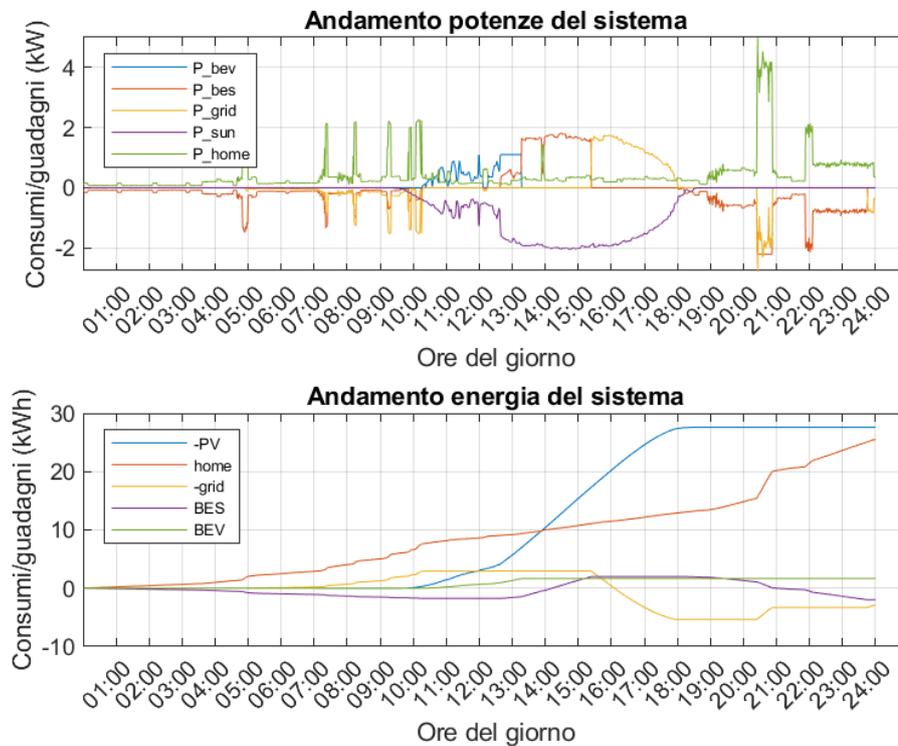


Figura 5.21: *Giorno 2/01*

5.2 Simulazione di dieci giorni:1/01/2016 - 10/01/2016

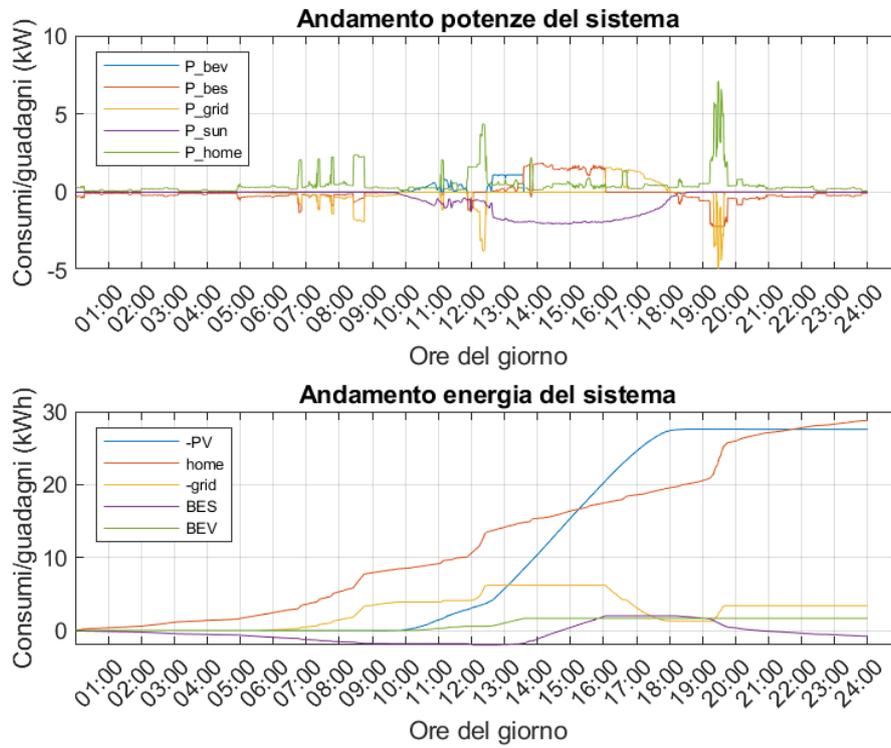


Figura 5.22: *Giorno 3/01*

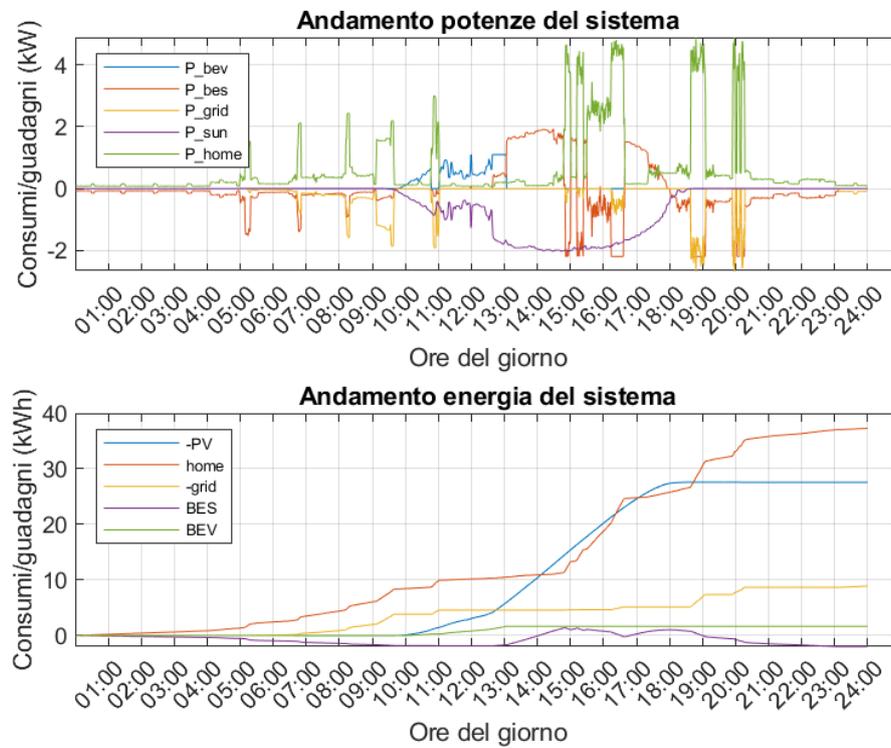


Figura 5.23: *Giorno 4/01*

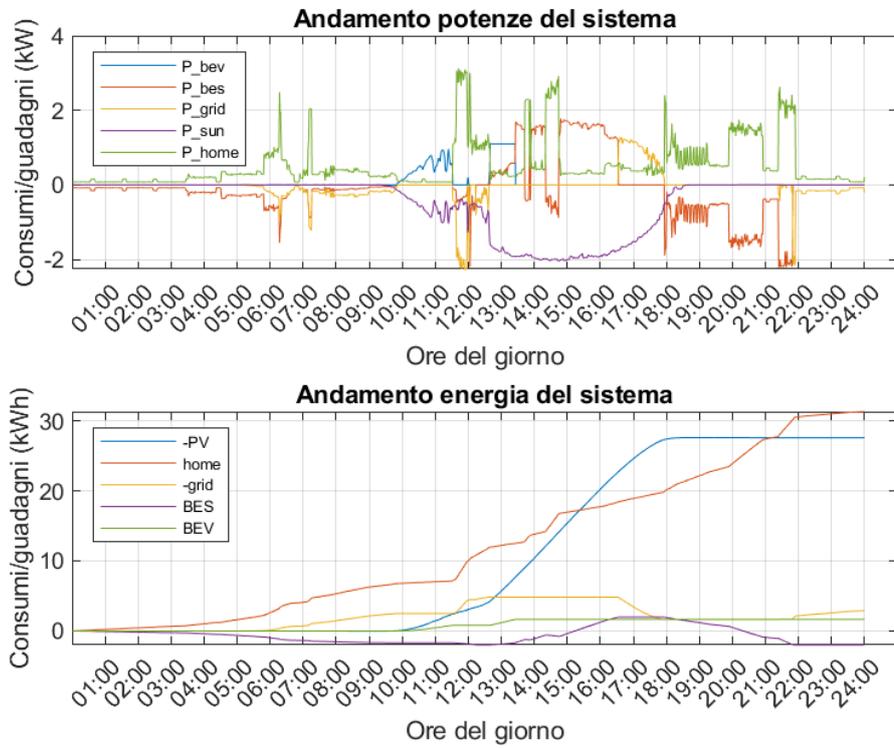


Figura 5.24: *Giorno 5/01*

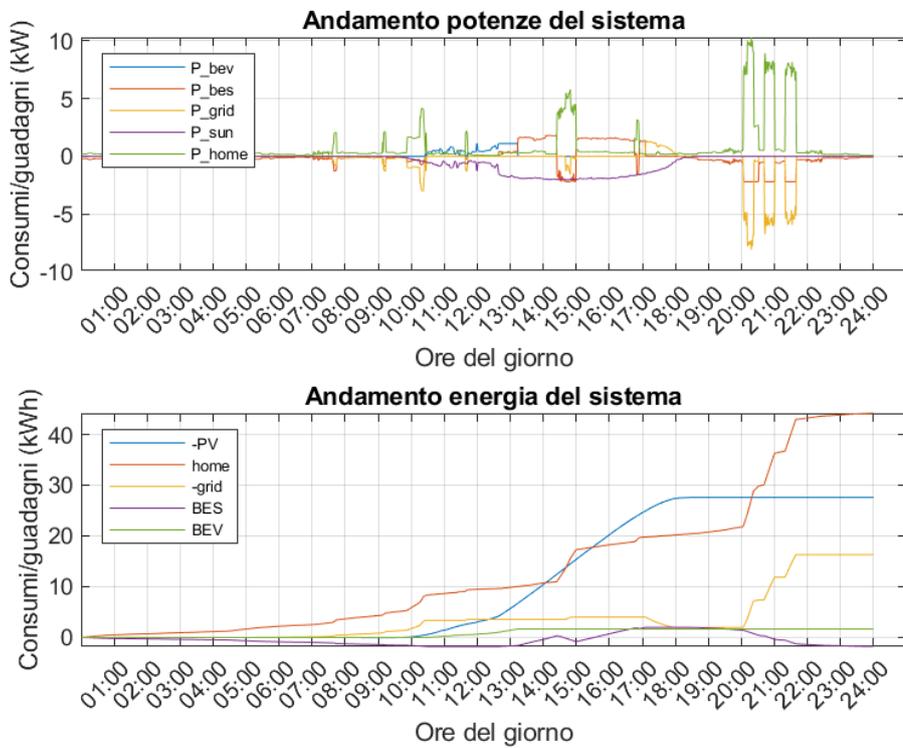


Figura 5.25: *Giorno 6/01*

5.2 Simulazione di dieci giorni:1/01/2016 - 10/01/2016

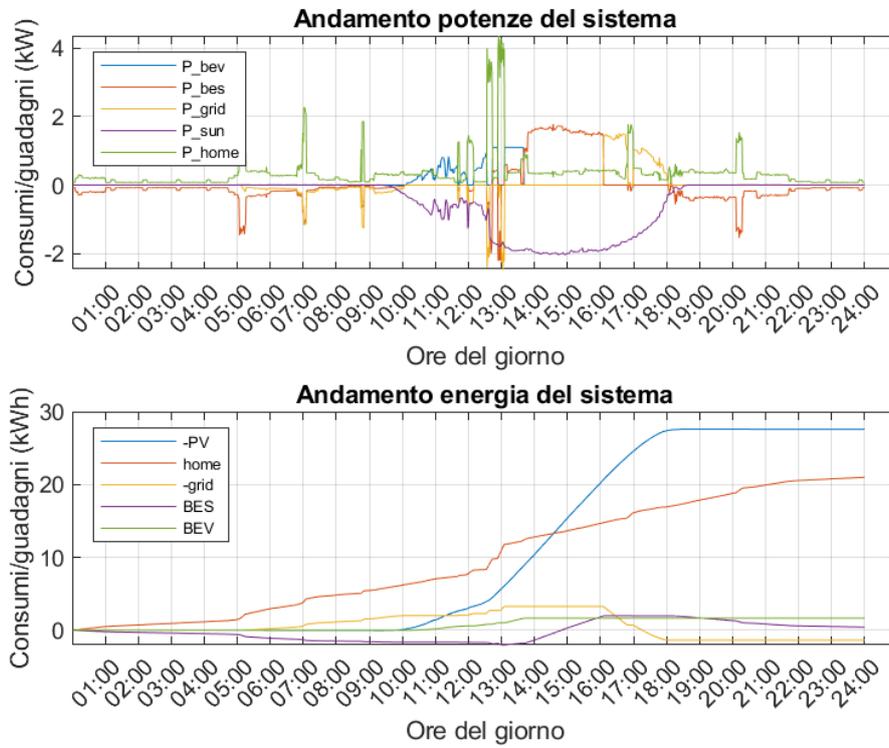


Figura 5.26: *Giorno 7/01*

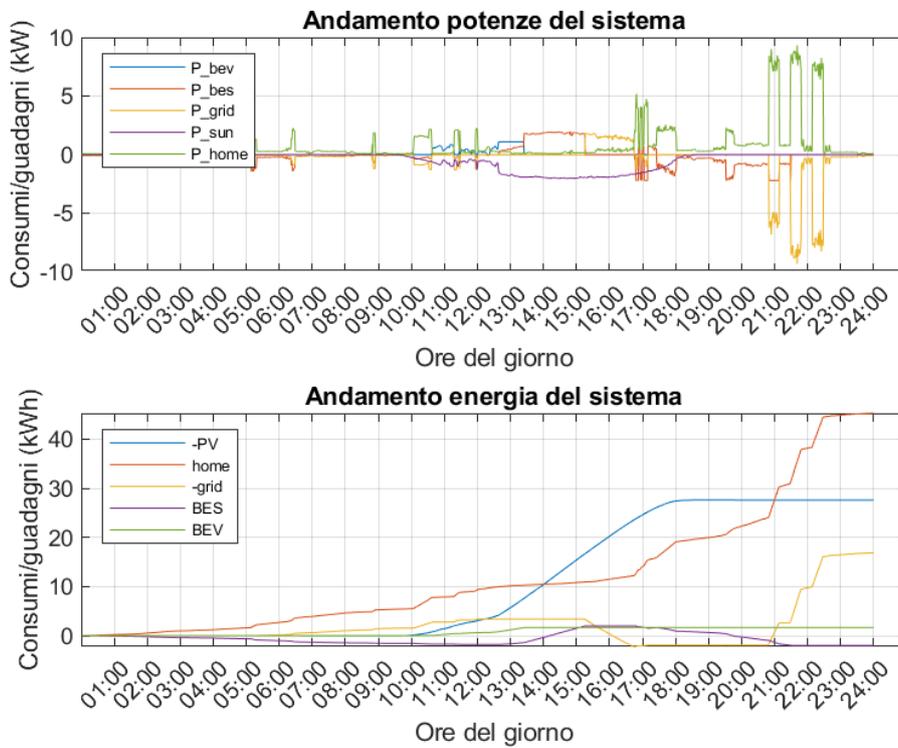


Figura 5.27: *Giorno 8/01*

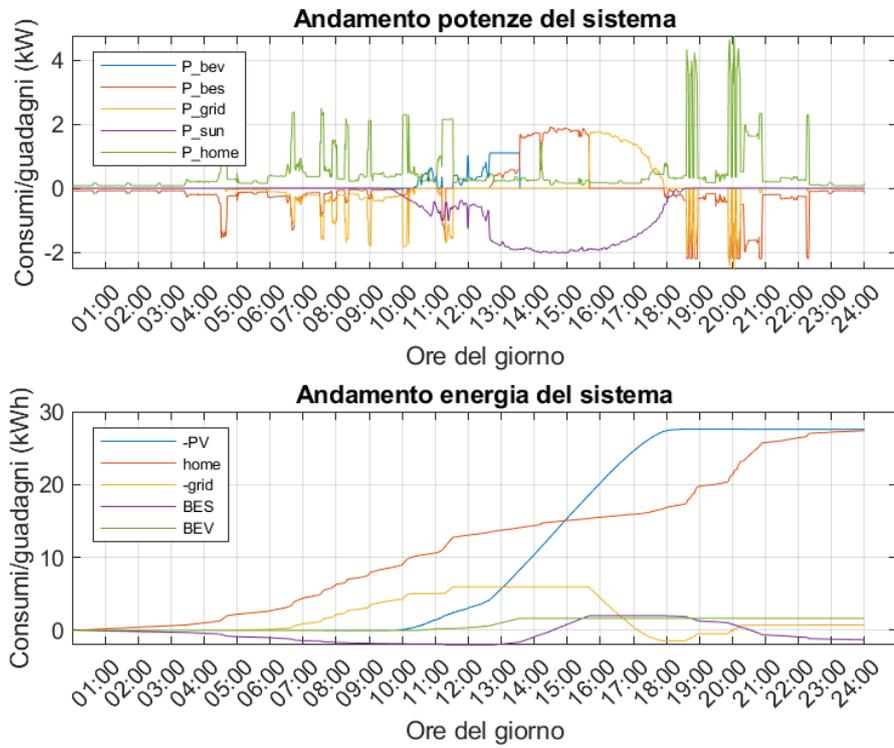


Figura 5.28: *Giorno 9/01*

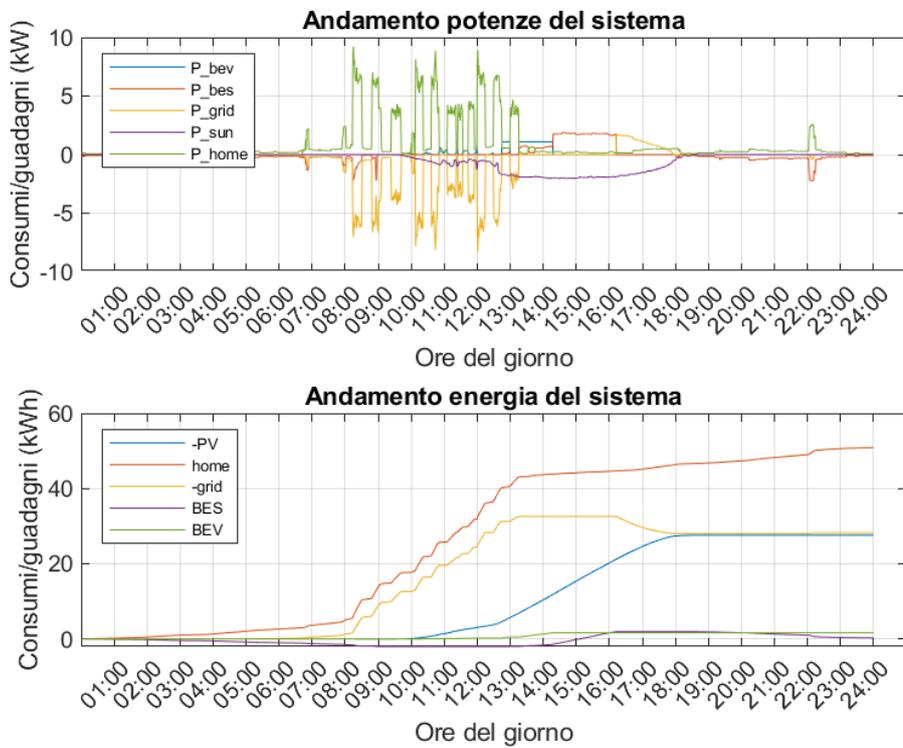


Figura 5.29: *Giorno 10/01*

5.3 Simulazione dataset di quartiere di 63 case

Per effettuare questa simulazione è stata creata una funzione apposita su Matlab in grado di definire un nuovo set di dati chiamato Dataset_quartiere e contenente la somma dei consumi di tutte le case presenti nel dataset LPG, per un totale di 63 carichi residenziali e 63 pannelli fotovoltaici.

```

1 function[Data_quartiere] = CreateQuartiere(giorno,n_case)
2
3 minuti=1440;
4
5 for k=1:n_case
6 Var(:,k)= cellstr(strcat('Casa_',int2str(k)));
7 VarTypes(:,k)=cellstr('double');
8 end
9 Data=table('Size',[1440 63],'VariableTypes',VarTypes,'VariableNames',Var);
10 for i=0:n_case-1
11 data=readtable(strcat('DATASET_LPG/Results_CHH_',int2str(i),'SumProfiles.
    Electricity.csv'));
12 Data(:,i+1)=data(((giorno-1)*minuti)+1 :giorno*minuti,3);
13 end
14 Data=table2array(Data);
15     for i=1:minuti
16
17 Data_quartiere(i,1)=sum(Data(i,:));
18     end
19 end

```

Codice 5.1: funzione per creare il dataset quartiere

I dati presenti nella tabella 5.4 sottostante, generata moltiplicando per il fattore indicante il numero di case anche la corrente massima e la capacità del BES e del BEV, si riferiscono ad una valutazione eseguita per dieci giorni, con i parametri del caso n°4.

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	1285.903	366.958	432.864	-65.906	-70.738	104.692	-1737.458	32.96	90.07
02-gen	1406.229	185.823	324.878	-139.056	-46.626	104.919	-1737.458	38.76	90.09
03-gen	1370.468	160.372	318.981	-158.609	-21.539	104.297	-1737.458	44.79	90.03
04-gen	1426.410	249.401	348.315	-98.915	-79.612	104.400	-1737.458	30.82	90.04
05-gen	1251.226	398.710	508.638	-109.928	-69.034	104.145	-1737.458	33.37	90.02
06-gen	1258.815	312.117	399.496	-87.380	-37.796	104.539	-1737.458	40.88	90.06
07-gen	1377.589	202.427	319.264	-116.837	-41.901	104.986	-1737.458	39.90	90.10
08-gen	1239.924	420.345	482.228	-61.883	-73.773	104.762	-1737.458	32.23	90.08
09-gen	1331.138	254.613	377.875	-123.262	-44.097	104.887	-1737.458	39.37	90.09
10-gen	1951.449	-345.141	0.000	-345.141	-52.237	104.801	-1737.458	37.41	90.08

Tabella 5.4: Tabella riassuntiva valori del quartiere

Il grafico di figura 5.30 è la rappresentazione di quanta energia viene ceduta e assorbita in un quartiere formato da 63 case con annessi 63 pannelli fotovoltaici.

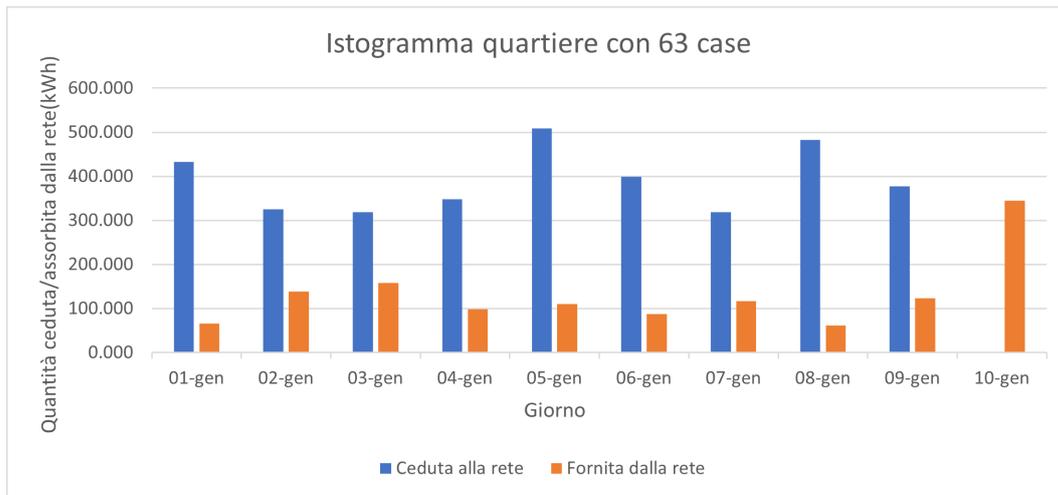


Figura 5.30: *Istogramma energia ceduta/assorbita (63 case)*

Si opta per questo tipo di simulazione con l'intenzione di avere come risultato un consumo mediato e senza picchi; tuttavia, provando ad aumentare il numero dei pannelli quante sono le case del quartiere, viene constatata una generazione elevata di energia elettrica, ciò vuol dire che bisogna dimensionare meglio il fattore α ed equilibrare lo scambio energetico.

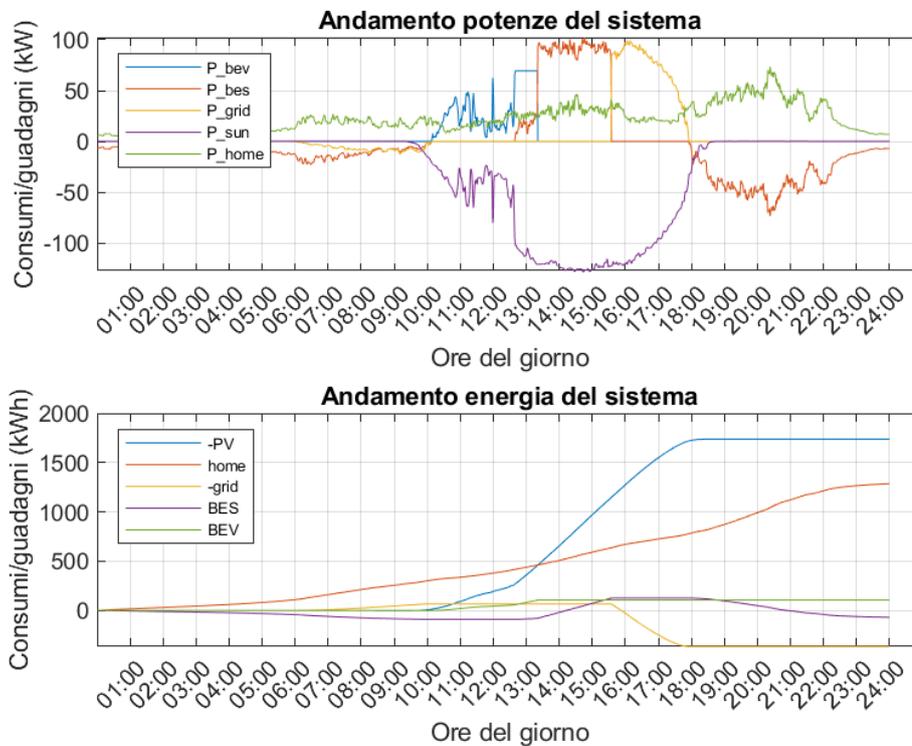


Figura 5.31: *Grafico del giorno 1/01 (63 case)*

5.4 Simulazione dataset di un condominio di dieci case

Analogamente a quanto fatto nel paragrafo precedente, in questo si è analizzato, invece, il consumo che può effettuare un condominio di dieci case (prese a caso nel dataset iniziale LPG) nei primi dieci giorni di gennaio.

Continuando a simulare con i parametri del caso n°4, si possono visualizzare e analizzare le quantità prodotte nella tabella 5.5 di seguito, notando come con questo tipo di simulazione, indipendentemente dal numero di case (vedasi anche la tabella 5.4), a fine giornata la batteria del BES non risulta completamente scarica.

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	218.550	35.336	48.343	-13.007	-7.731	16.523	-275.787	38.24	90.01
02-gen	225.386	27.919	53.060	-25.141	-7.527	16.544	-275.787	38.56	90.03
03-gen	192.547	50.339	69.190	-18.852	-3.496	16.673	-275.787	44.68	90.11
04-gen	274.891	-7.197	17.819	-25.017	-13.336	16.604	-275.787	29.75	90.06
05-gen	197.332	49.443	70.732	-21.289	-4.994	16.620	-275.787	42.40	90.07
06-gen	227.615	30.221	52.681	-22.460	-9.380	16.578	-275.787	35.76	90.05
07-gen	243.865	4.211	41.817	-37.606	-5.568	16.668	-275.787	41.54	90.10
08-gen	217.443	55.300	69.886	-14.586	-15.404	16.644	-275.787	26.63	90.09
09-gen	198.710	52.904	75.653	-22.749	-6.846	16.540	-275.787	39.59	90.02
10-gen	334.823	-78.757	12.998	-91.755	-8.701	16.605	-275.787	36.79	90.06

Tabella 5.5: Tabella riassuntiva valori del condominio

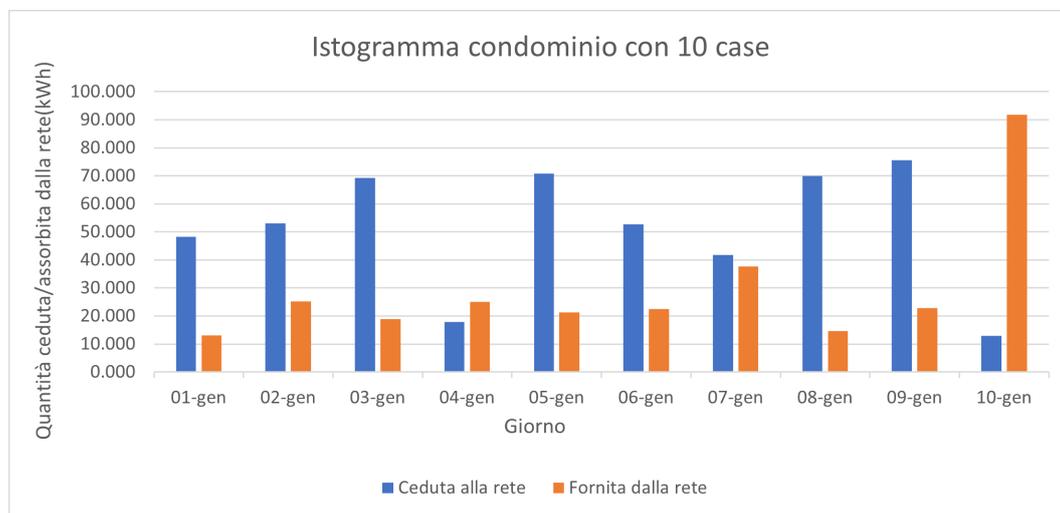


Figura 5.32: Istogramma energia ceduta/assorbita (condominio 10 case)

Nell'istogramma di figura 5.32, ancora una volta mediamente, è l'energia ceduta alla rete (in blu) ad avere un valore superiore rispetto a quella fornita dalla rete, superando in molti casi il valore di 50 kWh; l'ultimo giorno è l'unico caso eccezionale, in cui, anche di una quantità elevata, avviene il contrario.

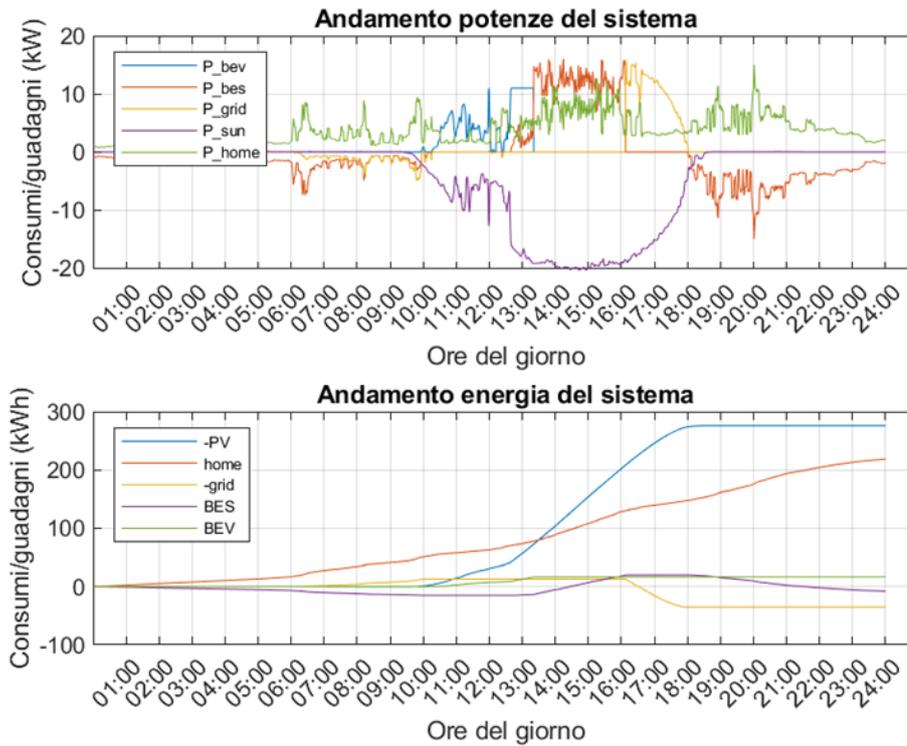


Figura 5.33: Grafico del giorno 1/01 (condominio 10 case)

5.5 Simulazione di dieci giorni per dieci singoli utenti

I parametri utilizzati sono gli stessi delle altre simulazioni, ovvero il caso n°4; in questo paragrafo analizzeremo singolarmente dieci case, prese a campione dal dataset iniziale, per poi confrontarle successivamente tra di loro.

- Casa 1

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	28.220	0.154	4.193	-4.039	-1.986	1.668	-27.579	19.91	90.11
02-gen	25.508	2.893	8.308	-5.415	-1.980	1.652	-27.579	20.00	90.01
03-gen	28.780	-3.374	4.899	-8.273	-0.786	1.657	-27.579	38.06	90.04
04-gen	37.280	-8.898	0.000	-8.898	-1.981	1.660	-27.579	19.98	90.06
05-gen	31.306	-2.891	3.198	-6.089	-1.995	1.660	-27.579	19.78	90.06
06-gen	44.169	-16.305	2.083	-18.388	-1.777	1.664	-27.579	23.05	90.09
07-gen	20.999	1.347	4.632	-3.285	0.426	1.668	-27.579	56.44	90.11
08-gen	45.247	-16.843	5.583	-22.426	-1.986	1.656	-27.579	19.91	90.03
09-gen	27.390	-0.732	7.394	-8.126	-1.288	1.659	-27.579	30.44	90.05
10-gen	50.871	-28.173	4.542	-32.715	0.293	1.661	-27.579	54.42	90.06

Tabella 5.6: Tabella valori casa 1

5.5 Simulazione di dieci giorni per dieci singoli utenti

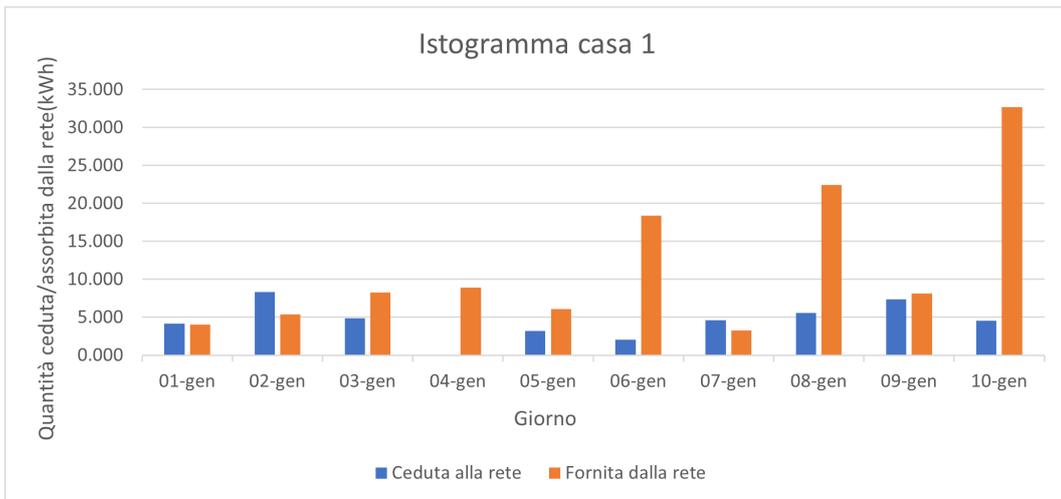


Figura 5.34: *Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 1)*

- Casa 2

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	21.435	2.632	5.523	-2.891	-0.246	1.652	-27.579	46.25	90.01
02-gen	17.977	6.133	8.378	-2.245	-0.264	1.652	-27.579	46.00	90.01
03-gen	17.446	4.921	8.864	-3.944	0.420	1.665	-27.579	56.35	90.09
04-gen	28.935	-4.361	1.977	-6.338	-0.463	1.667	-27.579	42.96	90.10
05-gen	18.704	2.305	5.967	-3.662	0.970	1.658	-27.579	64.69	90.05
06-gen	14.343	8.021	9.693	-1.673	0.428	1.658	-27.579	56.48	90.05
07-gen	23.616	1.558	8.360	-6.802	-0.704	1.666	-27.579	39.33	90.10
08-gen	21.232	2.979	7.941	-4.962	-0.321	1.668	-27.579	45.13	90.11
09-gen	13.880	8.738	10.964	-2.226	0.335	1.651	-27.579	55.05	90.01
10-gen	27.106	-4.856	1.475	-6.331	0.472	1.661	-27.579	57.13	90.07

Tabella 5.7: *Tabella valori casa 2*

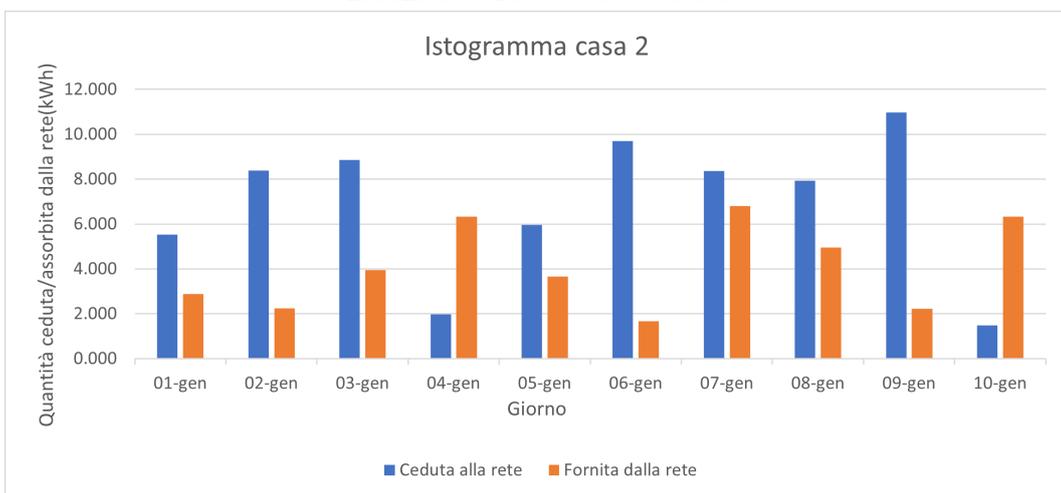


Figura 5.35: *Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 2)*

Capitolo 5 Simulazioni

- Casa 3

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	13.851	7.039	8.516	-1.477	1.018	1.660	-27.579	65.38	90.06
02-gen	16.434	4.816	11.462	-6.647	0.884	1.651	-27.579	63.34	90.01
03-gen	11.392	9.179	10.309	-1.130	1.144	1.660	-27.579	67.32	90.06
04-gen	17.874	3.302	5.077	-1.775	0.909	1.653	-27.579	63.76	90.02
05-gen	11.199	10.211	11.235	-1.024	0.809	1.659	-27.579	62.24	90.06
06-gen	15.884	4.395	8.320	-3.925	1.259	1.664	-27.579	69.04	90.08
07-gen	14.898	5.394	7.645	-2.251	1.254	1.661	-27.579	68.99	90.07
08-gen	11.193	9.266	10.067	-0.801	1.195	1.656	-27.579	68.06	90.03
09-gen	8.463	12.317	12.897	-0.580	1.069	1.653	-27.579	66.15	90.02
10-gen	28.206	-3.691	5.355	-9.046	-0.424	1.652	-27.579	43.53	90.01

Tabella 5.8: Tabella valori casa 3

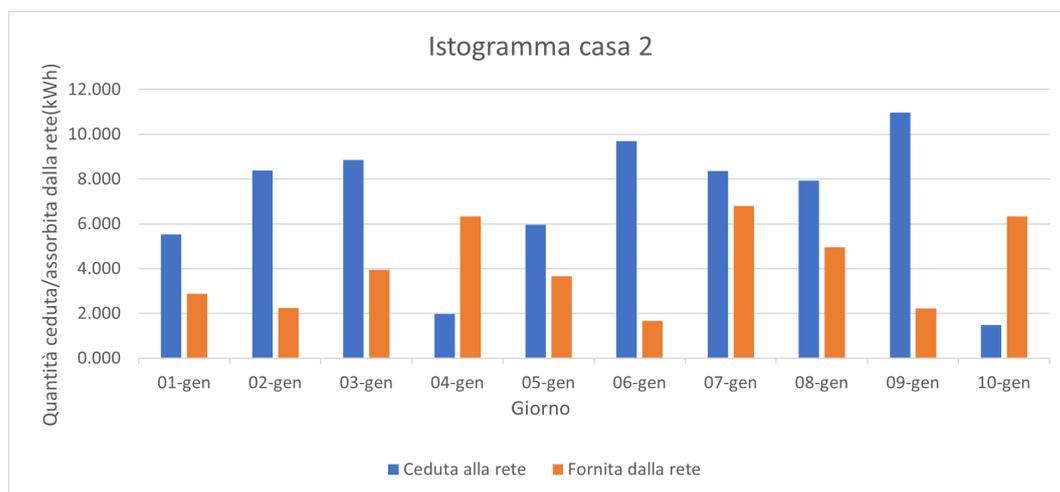


Figura 5.36: Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 3)

- Casa 4

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	15.324	8.604	9.526	-0.921	-0.199	1.662	-27.579	46.94	90.07
02-gen	15.132	7.892	9.086	-1.195	0.165	1.660	-27.579	52.45	90.06
03-gen	15.934	7.820	8.764	-0.944	-0.128	1.662	-27.579	48.00	90.07
04-gen	17.793	7.116	9.570	-2.454	-0.590	1.659	-27.579	41.04	90.05
05-gen	13.788	8.222	9.501	-1.279	0.565	1.663	-27.579	58.54	90.08
06-gen	17.694	4.948	8.132	-3.184	0.313	1.666	-27.579	54.68	90.09
07-gen	15.697	8.039	9.672	-1.633	-0.111	1.652	-27.579	48.26	90.01
08-gen	15.933	7.585	9.258	-1.673	-0.031	1.656	-27.579	49.51	90.04
09-gen	15.735	7.033	8.447	-1.414	0.261	1.665	-27.579	53.94	90.09
10-gen	17.605	5.155	6.279	-1.124	0.269	1.660	-27.579	54.05	90.06

Tabella 5.9: Tabella valori casa 4

5.5 Simulazione di dieci giorni per dieci singoli utenti

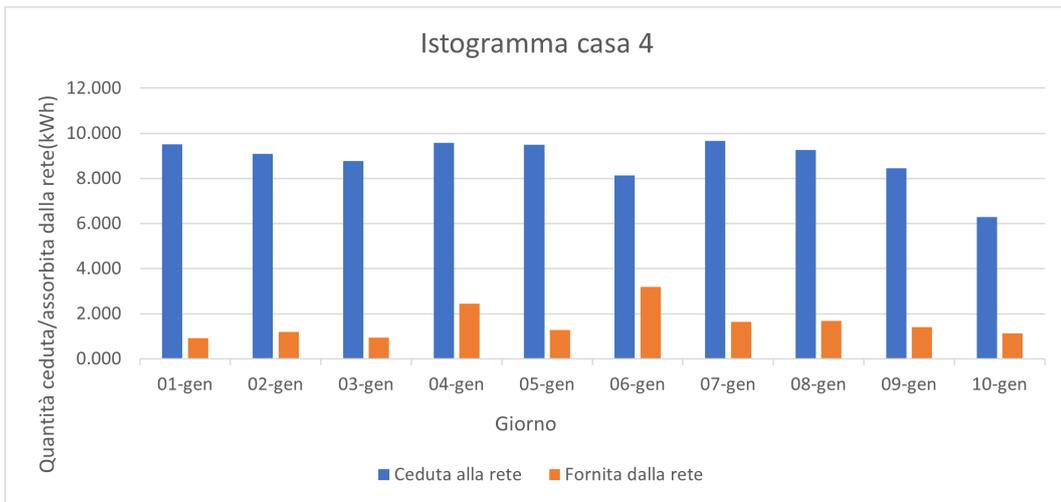


Figura 5.37: Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 4)

- Casa 5

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	30.682	-2.495	1.297	-3.792	-1.898	1.655	-27.579	21.23	90.03
02-gen	19.918	4.593	6.710	-2.117	-0.429	1.657	-27.579	43.49	90.04
03-gen	29.820	-2.146	2.126	-4.271	-1.698	1.660	-27.579	24.27	90.06
04-gen	32.322	-3.951	0.000	-3.951	-1.983	1.666	-27.579	19.96	90.10
05-gen	26.473	-0.658	5.532	-6.190	-0.951	1.657	-27.579	35.59	90.04
06-gen	27.570	-4.381	0.000	-4.381	0.102	1.654	-27.579	51.54	90.03
07-gen	22.533	2.193	4.403	-2.210	-0.516	1.657	-27.579	42.18	90.05
08-gen	18.360	4.627	8.790	-4.164	0.183	1.656	-27.579	52.73	90.04
09-gen	32.275	-3.892	0.000	-3.892	-1.981	1.660	-27.579	19.98	90.06
10-gen	29.284	-3.046	2.977	-6.023	-1.118	1.655	-27.579	33.06	90.03

Tabella 5.10: Tabella valori casa 5

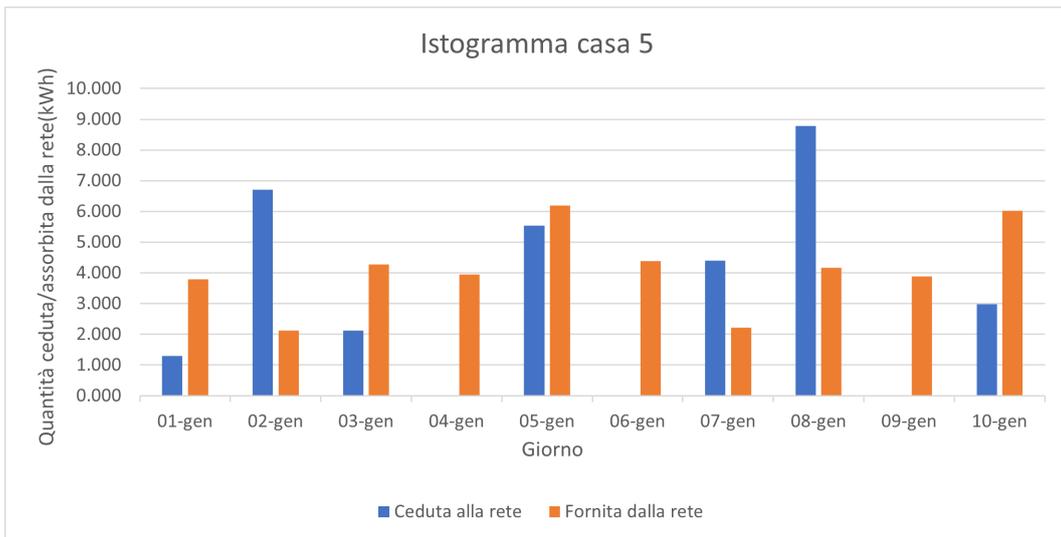


Figura 5.38: Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 5)

Capitolo 5 Simulazioni

- Casa 6

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	36.241	-8.693	0.000	-8.693	-1.637	1.653	-27.579	25.14	90.02
02-gen	17.393	6.396	8.272	-1.876	-0.150	1.667	-27.579	47.71	90.10
03-gen	20.355	2.685	5.888	-3.203	0.154	1.663	-27.579	52.31	90.08
04-gen	30.159	-6.893	2.910	-9.804	0.072	1.654	-27.579	51.08	90.02
05-gen	19.745	6.181	9.402	-3.221	-1.000	1.664	-27.579	34.80	90.09
06-gen	17.633	7.857	9.011	-1.154	-0.831	1.667	-27.579	37.40	90.10
07-gen	42.478	-16.653	0.000	-16.653	-0.958	1.661	-27.579	35.47	90.06
08-gen	16.822	7.289	8.883	-1.594	-0.269	1.659	-27.579	45.88	90.06
09-gen	18.367	6.813	9.267	-2.455	-0.694	1.657	-27.579	39.43	90.04
10-gen	59.333	-30.874	3.099	-33.973	-2.009	1.657	-27.579	19.56	90.04

Tabella 5.11: Tabella valori casa 6

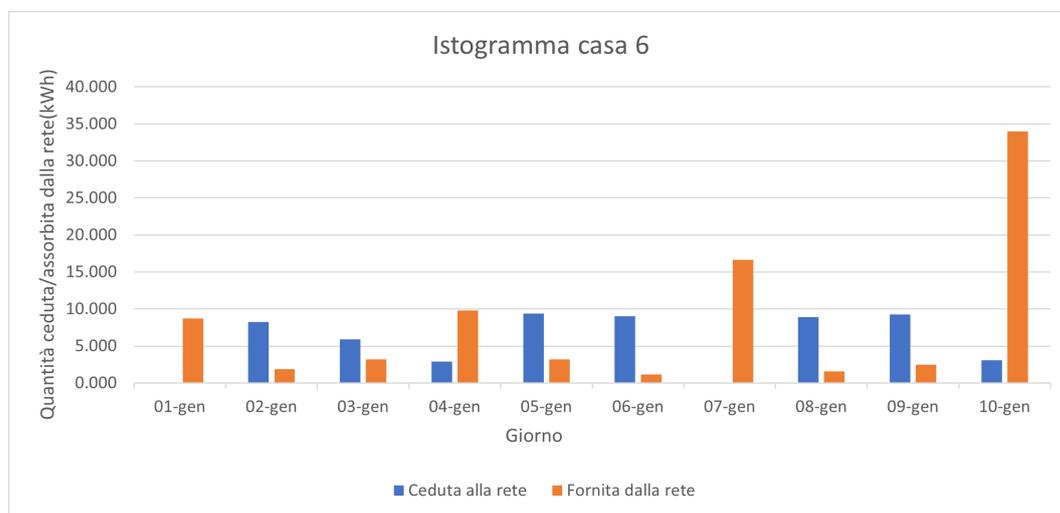


Figura 5.39: Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 6)

- Casa 7

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	11.844	10.806	11.986	-1.179	0.308	1.666	-27.579	54.62	90.10
02-gen	16.379	6.549	8.427	-1.879	0.204	1.660	-27.579	53.04	90.06
03-gen	14.165	9.240	11.351	-2.111	0.022	1.651	-27.579	50.29	90.00
04-gen	16.204	11.075	12.182	-1.107	-1.521	1.658	-27.579	26.69	90.05
05-gen	13.316	9.126	11.788	-2.662	0.399	1.657	-27.579	56.03	90.04
06-gen	12.878	8.864	10.017	-1.153	0.686	1.652	-27.579	60.34	90.01
07-gen	18.287	8.135	10.764	-2.629	-1.193	1.659	-27.579	31.88	90.05
08-gen	11.888	10.555	12.280	-1.724	0.402	1.655	-27.579	56.04	90.03
09-gen	13.666	8.688	10.183	-1.494	0.435	1.658	-27.579	56.54	90.05
10-gen	15.813	6.910	8.307	-1.397	0.288	1.655	-27.579	54.35	90.03

Tabella 5.12: Tabella valori casa 7

5.5 Simulazione di dieci giorni per dieci singoli utenti

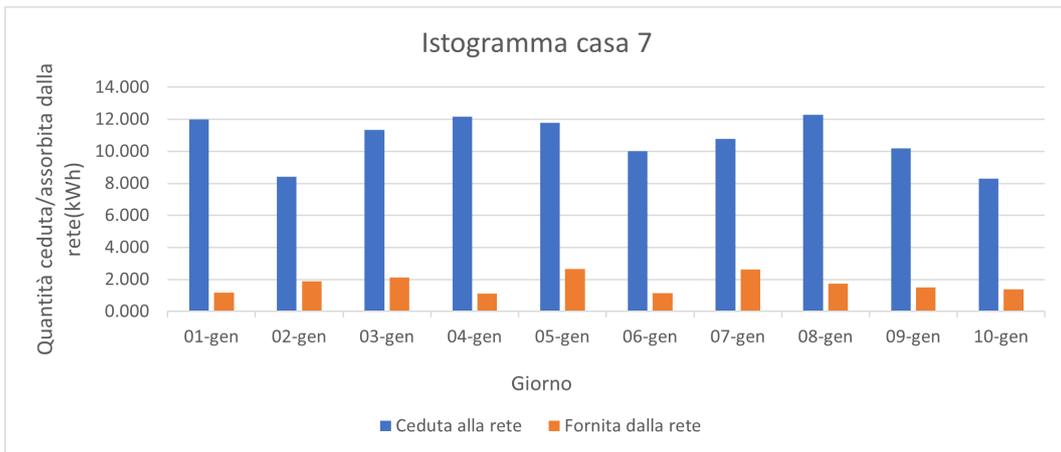


Figura 5.40: Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 7)

- Casa 8

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	18.346	4.616	8.195	-3.579	0.184	1.664	-27.579	52.77	90.08
02-gen	19.913	3.784	7.949	-4.165	-0.099	1.654	-27.579	48.47	90.02
03-gen	13.659	8.959	11.095	-2.136	0.322	1.665	-27.579	54.84	90.09
04-gen	28.750	-5.269	2.749	-8.018	-0.012	1.654	-27.579	49.77	90.03
05-gen	19.835	4.027	9.022	-4.995	-0.170	1.658	-27.579	47.41	90.05
06-gen	21.791	4.716	7.412	-2.696	-1.234	1.664	-27.579	31.28	90.08
07-gen	18.324	5.023	8.583	-3.560	0.027	1.667	-27.579	50.39	90.10
08-gen	16.489	7.059	9.562	-2.503	-0.041	1.654	-27.579	49.37	90.03
09-gen	18.020	6.719	9.512	-2.793	-0.526	1.664	-27.579	41.99	90.09
10-gen	30.543	-4.228	7.054	-11.282	-1.156	1.664	-27.579	32.44	90.09

Tabella 5.13: Tabella valori casa 8

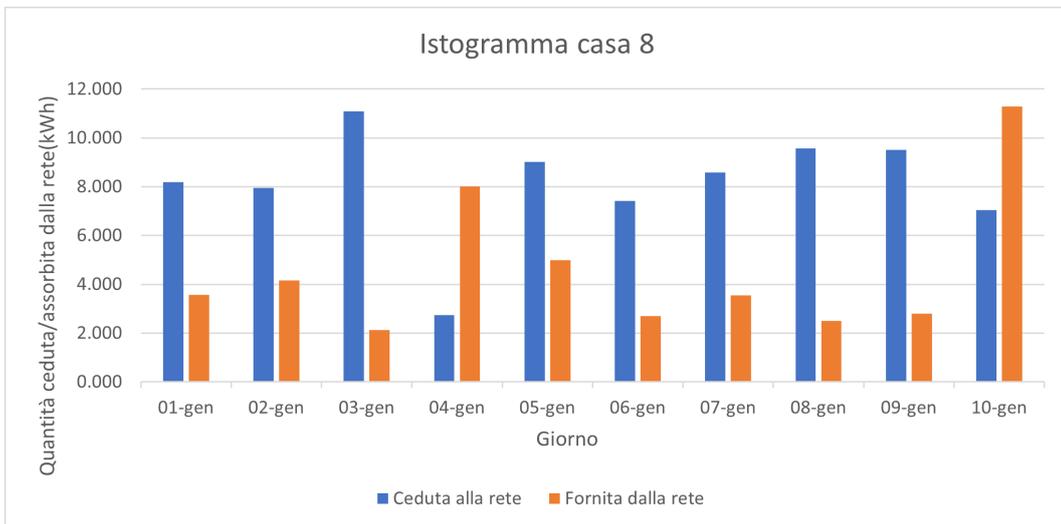


Figura 5.41: Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 8)

Capitolo 5 Simulazioni

- Casa 9

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	17.976	8.147	8.531	-0.384	-1.065	1.650	-27.579	33.82	90.00
02-gen	40.988	-12.585	0.000	-12.585	-1.985	1.655	-27.579	19.93	90.03
03-gen	24.085	2.283	5.260	-2.978	-1.167	1.654	-27.579	32.28	90.03
04-gen	31.598	-3.166	6.738	-9.904	-2.003	1.661	-27.579	19.66	90.07
05-gen	20.770	4.649	5.880	-1.232	-0.789	1.659	-27.579	37.95	90.06
06-gen	22.949	4.747	6.660	-1.913	-1.708	1.662	-27.579	24.10	90.08
07-gen	45.773	-17.349	3.735	-21.084	-1.993	1.655	-27.579	19.80	90.03
08-gen	36.765	-8.350	4.930	-13.281	-1.992	1.658	-27.579	19.82	90.05
09-gen	31.063	-3.439	3.721	-7.160	-1.678	1.661	-27.579	24.56	90.06
10-gen	24.645	1.203	2.718	-1.515	-0.960	1.653	-27.579	35.43	90.02

Tabella 5.14: Tabella valori casa 9

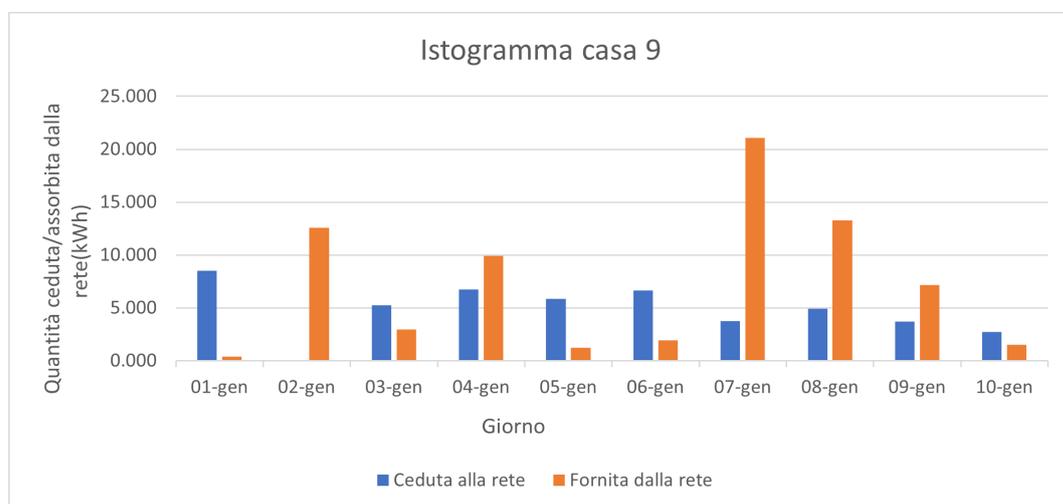


Figura 5.42: Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 9)

- Casa 10

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	24.631	3.459	7.610	-4.151	-1.847	1.654	-27.579	21.84	90.03
02-gen	35.744	-9.249	3.454	-12.703	-1.221	1.655	-27.579	31.49	90.03
03-gen	16.912	7.219	8.136	-0.916	-0.281	1.661	-27.579	45.72	90.07
04-gen	33.978	-8.636	3.107	-11.743	-0.761	1.657	-27.579	38.45	90.04
05-gen	22.196	5.015	6.254	-1.240	-1.512	1.664	-27.579	27.02	90.08
06-gen	32.704	-6.048	0.998	-7.046	-1.290	1.662	-27.579	30.41	90.07
07-gen	21.259	0.800	7.240	-6.440	0.553	1.657	-27.579	58.35	90.04
08-gen	23.514	-0.641	1.980	-2.621	0.224	1.659	-27.579	53.38	90.06
09-gen	19.852	5.787	9.222	-3.434	-0.886	1.665	-27.579	36.53	90.09
10-gen	51.415	-27.690	3.160	-30.850	-0.108	1.651	-27.579	48.34	90.01

Tabella 5.15: Tabella valori casa 10

5.5 Simulazione di dieci giorni per dieci singoli utenti

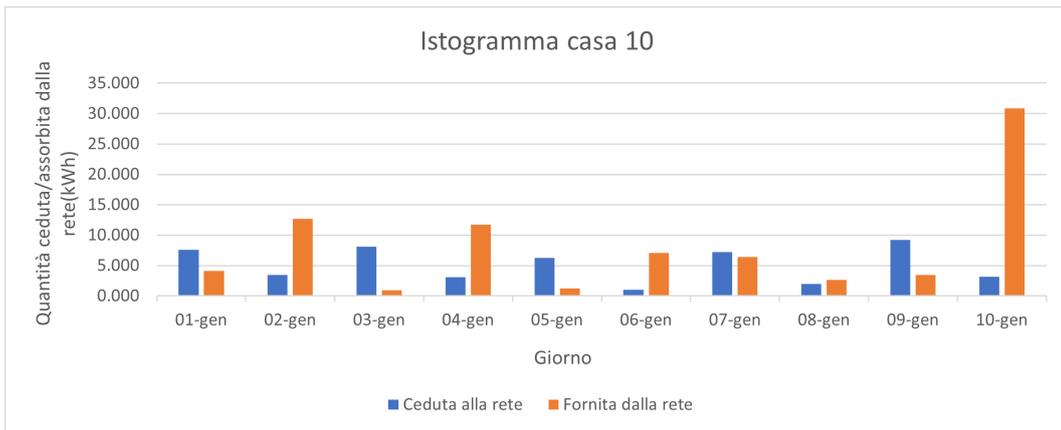


Figura 5.43: *Istogramma energia ceduta/assorbita (utente 10)*

Da questa analisi accurata si può evidenziare come il fotovoltaico per alcune famiglie sia stato dimensionato correttamente con il fattore α uguale a 1, invece in altri casi bisogna variarlo, poiché per alcune è ancora troppo alto, per altre troppo piccolo. Infatti, tale osservazione ci rimanda alla simulazione del condominio (paragrafo 5.4), con tutte queste dieci case insieme, in cui ho comunque un elevato apporto di quantità ceduta alla rete (blu) rispetto a quella fornita da essa (arancione). Per quanto riguarda i valori presenti nelle tabelle, si presta attenzione sui risultati del SOC di entrambe le batterie: mentre il BEV sembra essere sempre nell'intorno del 90% (carico), in media il BES di quasi tutte le case, contrariamente a quanto studiato in altre simulazioni in cui tende a scaricarsi, riesce a conservare più energia al suo interno e a mantenere carica la batteria anche se di poco.

5.5.1 Simulazione delle singole dieci case sommate tra di loro

Giorno	E_home	E_grid	E_grid_pos	E_grid_neg	E_bes	E_bev	E_sun	SOC_BES	SOC_BEV
01-gen	218.550	34.270	65.376	-31.106	-7.368	16.585	-275.787	38.79	90.05
02-gen	225.386	21.220	72.046	-50.826	-4.874	16.562	-275.787	42.59	90.04
03-gen	192.547	46.787	76.693	-29.906	-2.000	16.598	-275.787	46.94	90.06
04-gen	274.891	-19.681	44.310	-63.991	-8.332	16.589	-275.787	37.34	90.05
05-gen	197.332	46.187	77.780	-31.592	-3.674	16.599	-275.787	44.41	90.06
06-gen	227.615	16.813	62.326	-45.513	-4.052	16.614	-275.787	43.83	90.07
07-gen	243.865	-1.511	65.035	-66.546	-3.215	16.602	-275.787	45.11	90.06
08-gen	217.443	23.527	79.274	-55.748	-2.635	16.578	-275.787	45.98	90.05
09-gen	198.710	48.033	81.608	-33.574	-4.954	16.593	-275.787	42.46	90.06
10-gen	334.823	-89.289	44.968	-134.256	-4.453	16.568	-275.787	43.23	90.04

Tabella 5.16: *Tabella valori sommati di ogni singolo utente*

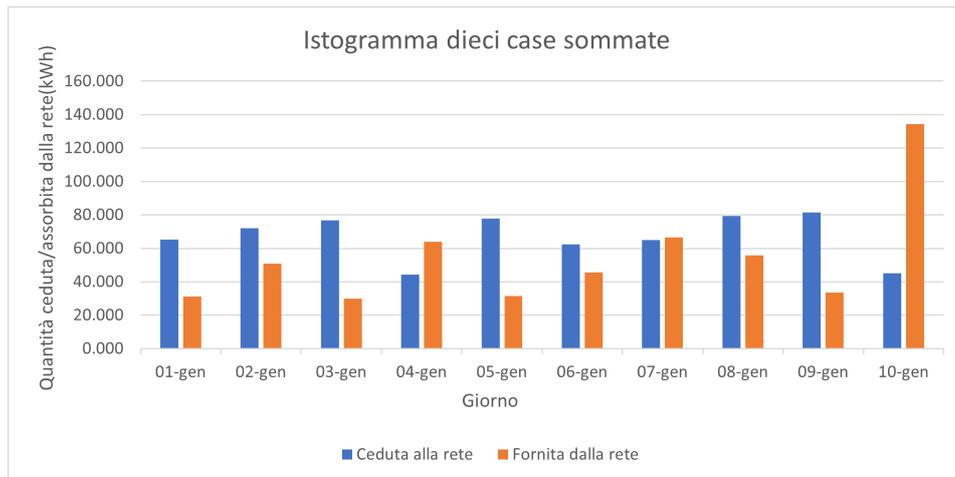


Figura 5.44: *Istogramma energia ceduta/assorbita (somma dei 10 utenti)*

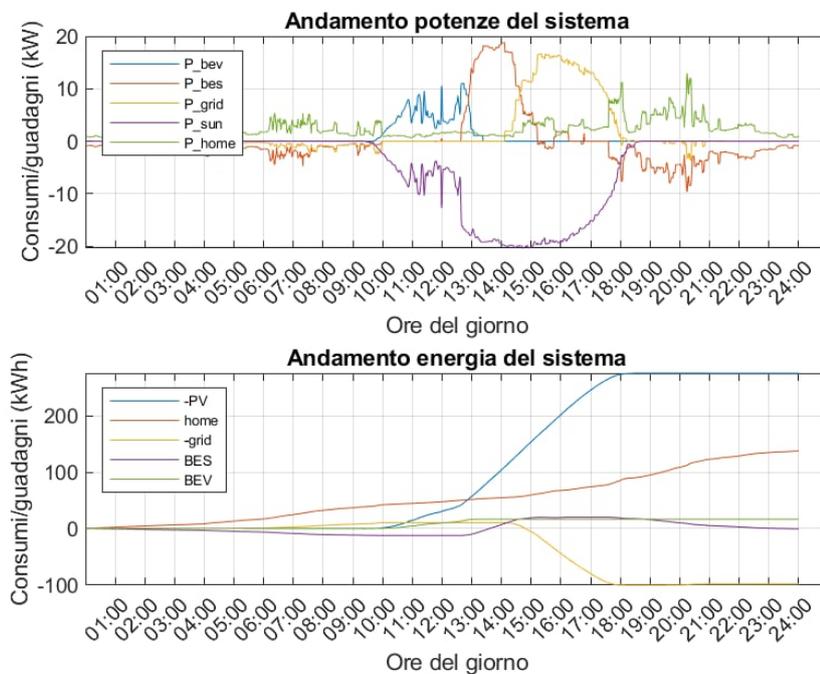


Figura 5.45: *Grafico del giorno 1/01 (somma dei 10 utenti)*

Confrontando quest'ultima tabella 5.16 con quella del condominio di dieci case (tabella 5.5), si può fare un'osservazione sulla batteria BES: se condivisa come nel caso del condominio, essendo quasi sempre carica, si riesce a gestire meglio l'energia; al contrario, se ogni casa utilizza una batteria propria, essa tende spesso a scaricarsi non riuscendo ad equilibrare lo scambio energetico. Questo discorso riflette anche sull'energia, in quanto visionando i due istogrammi 5.44 e 5.32, si evince come in un condominio quella fornita dalla rete risulti inferiore a quella ceduta alla rete, cosa che non avviene nella somma delle dieci case in cui vi è poca energia ceduta alla rete. Infatti, un sistema integrale, come quello di un condominio, permette all'algoritmo di gestire in modo efficiente e scambiare meno energia con la rete.

Capitolo 6

Conclusioni

L'analisi svolta in questa tesi ha prodotto esiti di notevole importanza e credibilità, grazie all'utilizzo di dati concreti e reali, riguardanti la tematica dell'ottimizzazione della gestione energetica di una Smart Grid.

L'elaborato descrive un modello base di microgrid che mira a valutare il preciso comportamento di un algoritmo per la gestione di carica e scarica, usato allo scopo di controllare il consumo e gli scambi di energia all'interno della stessa rete.

Le simulazioni in Matlab hanno determinato aspetti negativi e positivi, mostrando come nelle ore centrali è il pannello a soddisfare la richiesta di energia del carico e nelle ore di maggiore domanda, in cui non vi è generazione solare, sono le batterie, alimentate precedentemente, a fungere da fornitori di energia. Ciò fa in modo che, nelle ore di picco in cui i prezzi sono generalmente maggiori, i costi vengano abbattuti grazie all'utilizzo di energia solare a costo zero.

Successivamente al confronto tra i valori di un condominio formato da dieci case e quelli della somma di dieci case singole, è emerso che la gestione dell'energia è ottimizzata maggiormente su un sistema collettivo unitario (condominio) rispetto a tanti individuali.

L'algoritmo in questione risulta molto basilare e semplice, tuttavia non può tener conto solamente di alcuni fattori primari, come la potenza istantanea dei vari componenti e la stima dell'energia, escludendone uno fondamentale, ovvero il costo variabile dell'energia all'interno di una giornata. Questo aspetto negativo potrà essere dimensionato attuando le opportune modifiche alla logica dell'algoritmo. Inoltre, una miglioria potrebbe riguardare l'utilizzo di altre variabili secondarie, quali temperatura, umidità ed altri fattori, che influenzerebbero i comportamenti fisici delle batterie e del pannello, in modo da avvicinare sempre di più le simulazioni al concetto di realtà.

La tesi affronta all'interno del tema della gestione energetica, anche l'utilizzo del V2G, inserendo nel sistema un veicolo elettrico pensato come batteria mobile, in grado di svolgere la doppia funzione di accumulatore e generatore. Per tale motivo in futuro, combinando le analisi e le richieste di energia, si può considerare il profilo di consumo di un'auto elettrica, per stimare l'utilizzo all'interno di una giornata e calcolarne, in modo statistico, la durata dello stato di carica.

Bibliografia

- [1] Josephine Conde. Smart grid: cosa sono, come funzionano e ambiti applicativi. <https://www.internet4things.it/smart-energy/smart-grid-cosa-sono-come-funzionano-e-ambiti-applicativi/>, 9 Agosto 2020.
- [2] Andrea Balocchi. Smart grid: cos'è e cosa significa. <https://www.lumi4innovation.it/smart-grid-cose-e-cosa-significa/>, 25 Aprile 2019.
- [3] Smart grid. https://it.wikipedia.org/wiki/Smart_grid.
- [4] EFF MCMHON. Forbes: Smart grid dreams svanisce senza supporto congressuale. <https://it.technocracy.news/sogni-di-smart-grid-sbiaditi-senza-supporto-congressuale/>, 30 APRILE 2018.
- [5] Gianluigi Torchiani. Vehicle to grid: come funziona e quali sono i vantaggi. <https://www.lumi4innovation.it/vehicle-to-grid-come-funziona-quali-vantaggi/>, 15 Marzo 2021.
- [6] Cassidy Shell. Ev charging: Software and grid services. <https://www.cleantech.com/ev-charging-software-and-grid-services/>, 15 Luglio 2019.
- [7] Willett Kempton and Jasna Tomić. Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. *Journal of Power Sources*, 144(1):268–279, 2005.
- [8] Ilhami Colak, Heinz Wilkening, Gianluca Fulli, Julija Vasiljevska, Fatih Issi, and Orhan Kaplan. Analysing the efficient use of energy in a small smart grid system. *2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, pages 1–4, 2012.
- [9] Chanaka Keerthisinghe and Daniel S. Kirschen. 1 real-time digital simulation of microgrid control strategies. In *2020 IEEE Power Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, pages 1–5, 2020.
- [10] Juan Miguel Gonzalez López, Edris Pouresmaeil, Claudio A. Cañizares, Kankar Bhattacharya, Abolfazl Mosaddegh, and Bharatkumar V. Solanki. Smart resi-

Bibliografia

- dential load simulator for energy management in smart grids. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 66(2):1443–1452, 2019.
- [11] Agnese Beltramo, Andreea Julea, Nazir Refa, Yannis Drossinos, Christian Thiel, and Sylvain Quoilin. Using electric vehicles as flexible resource in power systems: A case study in the netherlands. In 2017 14th International Conference on the European Energy Market (EEM), pages 1–6, 2017.
- [12] Alesssandro G. Fiorese, Yuri Reis Rodrigues, A. C. Zamboni de Souza, and Mauricio Campos Passaro. On effects of pevs in islanded microgrids resilience. In 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America), pages 1–6, 2019.
- [13] Saber Falahati Aliabadi, Seyed Abbas Taher, and Mohammad Shahidehpour. Smart deregulated grid frequency control in presence of renewable energy resources by evs charging control. IEEE Transactions on Smart Grid, 9(2):1073–1085, 2018.
- [14] Yogesh S. Bhavsar, Prasad V. Joshi, and Sonali M. Akolkar. Energy management in dc microgrid. In 2015 International Conference on Energy Systems and Applications, pages 209–213, 2015.
- [15] Xiongwei Liu, Ian Chilvers, Maizura Mokhtar, Adam Bedford, Keir Stitt, and Javad Yazdani. Microgrid development for properties. In 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies, pages 1–7, 2011.
- [16] Andreea Ignat, Eniko Szilagy, and Dorin Petreuş. Renewable energy microgrid model using matlab — simulink. In 2020 43rd International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), pages 1–6, 2020.
- [17] Adel Elgammal and Mohamed El-Naggar. Energy management in smart grids for the integration of hybrid wind–pv–fc–battery renewable energy resources using multi-objective particle swarm optimisation (mopso). The Journal of Engineering, 2018(11):1806–1816, 2018.
- [18] Commercial and residential hourly load profiles for all tmy3 locations in the united states. <https://data.openei.org/submissions/153>, Novembre 2014.
- [19] Power statistics. <https://www.entsoe.eu/data/power-stats/>, 2021.
- [20] Umasstracerepository. <http://traces.cs.umass.edu/index.php/Smart/Smart>, 4 febbraio 2020.
- [21] Politecnico di Milano. Misure dei consumi di energia elettrica nel settore domestico. http://www.eerg.it/resource/pages/it/Progetti_-_MICENE/compendio_misure_consumi_elettrici.pdf, 2004.

- [22] EIA. Residential energy consumption survey (recs). <https://www.eia.gov/consumption/residential/>.
- [23] EIA. Commercial buildings energy consumption survey (cbees). <https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2012//>.
- [24] Banes energy data electricity. <https://data.bathhacked.org/datasets/banes-energy-data-electricity>, 10th Feb 2020.
- [25] Load profile generator. <https://www.loadprofilegenerator.de/results2/>, Dicembre 2016.
- [26] Battery management system. https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_management_system#Electric_vehicle_systems:_energy_recovery.
- [27] REDAZIONE FARE ELETTRONICA. Bms: Sistema di monitoraggio e gestione delle batterie al litio. <https://fareelettronica.it/web/bms-sistema-di-monitoraggio-e-gestione-delle-batterie-al-litio/>, 31 Agosto 2021.
- [28] Ammon Wright. Risolvere le problematiche di sviluppo di un sistema di gestione della batteria tramite un framework mbd. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/it/webinar/battery-management-system-control-validation/77332>.
- [29] Jiapeng Wen and Jiuchun Jiang. Battery management system for the charge mode of quickly exchanging battery package. In 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pages 1–4, 2008.
- [30] Zhixin Miao, Ling Xu, Vahid R. Disfani, and Lingling Fan. An soc-based battery management system for microgrids. IEEE Transactions on Smart Grid, 5(2):966–973, 2014.
- [31] Sabiqun Nahar, Md. Redowan Mahmud Arnob, and Abu Hena Md. Shatil. Augmentation of battery management systems in smart-grid operation using fuzzy logic. In 2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST), pages 85–89, 2021.
- [32] Ahmed T. Elsayed, Christopher R. Lashway, and Osama A. Mohammed. Advanced battery management and diagnostic system for smart grid infrastructure. IEEE Transactions on Smart Grid, 7(2):897–905, 2016.
- [33] Ireland electric vehicle. https://data.lab.fiware.org/dataset/smart_energy_data-_ireland_electric_vehicles.
- [34] Acn-dataset. <https://ev.caltech.edu/dataset>.
- [35] Elaadnl. <https://www.elaad.nl/research/data-analytics/>.

Bibliografia

- [36] Åse Lekang Sørensen. Mendeley data. <https://data.mendeley.com/datasets/jbks2rcwyj/2>, 29 Aprile 2021.
- [37] Matlab: Matematica. grafica. programmazione. <https://it.mathworks.com/products/matlab.html>.
- [38] Simplified model of a small scale micro-grid. <https://it.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/simplified-model-of-a-small-scale-micro-grid.html>.
- [39] Nutthaka Chinomi, Monthon Leelajindakrairerk, Suttipong Boontaklang, and Chow Chompoo-Inwai. Design and implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and labviewtm program. Journal of International Council on Electrical Engineering, 7(1):142–152, 2017.
- [40] Smart Grid Resource Center. Simulation tool – openss. <https://smartgrid.epri.com/SimulationTool.aspx>.
- [41] Mosaik is a flexible smart grid co-simulation framework. <https://mosaik.offis.de>.
- [42] Umass trace repository. <http://traces.cs.umass.edu/index.php/Smart/Smart>.