



Ricerca di Sistema elettrico

Attività di monitoraggio energetico e ambientale, diagnostica ed energy engagement degli utenti degli use case

A. Capozzoli, S. P. Corgnati, M. V. Di Nicoli, V. Fabi,
M. S. Piscitelli, G. Spigiantini

ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO ENERGETICO E AMBIENTALE, DIAGNOSTICA ED ENERGY ENGAGEMENT DEGLI UTENTI DEGLI USE CASE

A. Capozzoli, S. P. Corgnati, M. V. Di Nicoli, V. Fabi, M. S. Piscitelli, G. Spigliantini (Politecnico di Torino)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

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

Progetto: D.6 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: b Sistemi e servizi smart per edifici

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Attività di monitoraggio energetico e ambientale, diagnostica ed energy engagement degli utenti degli use case”*

Responsabile scientifico ENEA: Sabrina Romano.

Responsabile scientifico Politecnico di Torino: A. Capozzoli, S. P. Corgnati

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 ANALISI DEI DATI MONITORATI NEGLI EDIFICI PILOTA.....	5
2.1.1 <i>Tendenze e distribuzioni</i>	8
2.1.2 <i>Identificazione della tipologia di utente</i>	20
2.1.3 <i>Caratterizzazione dei profili di carico</i>	24
2.2 DIAGNOSTICA A LIVELLO DI AGGREGATORE.....	42
2.2.1 <i>Processo metodologico di classificazione degli utenti</i>	42
2.2.2 <i>Applicazione del processo di classificazione degli utenti a livello di aggregatore</i>	45
2.3 PROGETTAZIONE DELLA COMUNICAZIONE AGLI UTENTI.....	51
2.3.1 <i>Le strategie di comunicazione e le rappresentazioni grafiche</i>	52
2.3.2 <i>Articolazione della comunicazione agli utenti negli edifici pilota</i>	53
2.3.3 <i>Dall'informazione scientifica alla comunicazione scientifica</i>	55
2.3.4 <i>Trasformazione dei dati di monitoraggio in conoscenza utile per gli utenti</i>	57
3 CONCLUSIONI.....	64
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	65
5 CURRICULUM VITAE DEGLI AUTORI DEL RAPPORTO TECNICO.....	67

Sommario

L'attività svolta nel programma di ricerca del PAR 2016 si è delineata intorno alla sperimentazione avviata in riferimento all'obiettivo "Smart Homes Network" del progetto "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano". Il lavoro svolto dal Politecnico di Torino è stato strutturato in 3 attività principali, ciascuna delle quali è illustrata nel presente documento. La prima attività svolta (sezione 2.1) ha riguardato l'esame dei dati provenienti dal sistema di monitoraggio installato in ciascuno degli edifici pilota all'interno della sperimentazione. Tale lavoro è stato preceduto da un'analisi volta sia a verificare la qualità dei dati ottenuti tramite il sistema di monitoraggio sia ad evidenziare eventuali criticità di acquisizione e trasmissione dei dati. Inoltre, questa indagine ha permesso di definire il livello e il dettaglio dei dati ottenuti dalla sperimentazione e la tipologia di elaborazione dei dati da condurre. Tendenze, distribuzioni e profili delle grandezze misurate sono stati quindi definiti per i diversi casi di studio, permettendo così di caratterizzare le diverse tipologie di utenze che risiedono all'interno dei diversi edifici.

La seconda attività svolta (sezione 2.2) ha riguardato il tema della diagnostica a livello di aggregatore, evidenziando tecniche di benchmarking supervisionate utili per comparare i profili energetici dei singoli casi di studio con un più ampio spettro di riferimenti. In particolare, parte del database proveniente dalle simulazioni effettuate dal Politecnico delle Marche, in riferimento al Report Rds/PAR2015/020, è stato utilizzato per evincere profili tipici con cui poter raffrontare gli edifici pilota della sperimentazione.

L'attività relativa alla sezione 2.3 si è invece concentrata sullo sviluppo di diverse strategie di comunicazione ed interazione con gli utenti, con il fine di indurre un cambiamento comportamentale per ridurre gli sprechi energetici. Le strategie prese in considerazione da alcuni programmi di cambiamento comportamentale presenti in letteratura sono state analizzate e contestualizzate rispetto alla sperimentazione.

Le diverse attività svolte vanno quindi a costituire un quadro ben strutturato sul tema dello "Smart Home network". Il quadro emerso dalle attività svolte si aggiunge a quello presente in letteratura affrontando nuove linee di ricerca che vedono l'introduzione dell'utente come un vero e proprio agente attivo nell'abitazione "intelligente". Come nelle precedenti esperienze dei PAR, le ricerche condotte e i risultati ottenuti hanno permesso di approfondire i temi oggetto di studio e hanno aperto nuovi stimoli per proseguire indagini del settore, sempre più centrali nella ricerca nazionale e internazionale indirizzata alla gestione e al controllo energeticamente efficiente degli edifici.

1 Introduzione

In questo documento sono sintetizzate le attività condotte dal Politecnico di Torino relative all'analisi e all'elaborazione dei dati di monitoraggio provenienti dai diversi edifici pilota presi in considerazione nella sperimentazione. All'interno dello studio effettuato sono state elaborate modalità analisi dei dati relativi all'energia elettrica totale richiesta da ogni edificio pilota così come dei principali elettrodomestici al fine di evidenziare le principali proprietà e caratteristiche dei profili di carico giornalieri. Inoltre viene individuata una procedura metodologica di classificazione per condurre analisi di benchmarking e diagnostica sulle utenze gestite da un aggregatore. Infine è presentata la progettazione di un sistema di informazione per comunicare i risultati delle analisi dei dati monitorati agli utenti al fine di orientare il loro comportamento verso comportamenti più sostenibili.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Analisi dei dati monitorati negli edifici pilota

La sperimentazione ha riguardato cinque casi di studio, adibiti a residenza, nel territorio del Comune di Roma. Tre dei casi di studio sono appartamenti situati in edifici plurifamiliari, mentre i restanti due costituiscono una villa bifamiliare. Nella Tabella 1 viene riportata la classificazione degli edifici pilota, con la descrizione della superficie utile e del numero di utenti presenti. Come si evince dalla Tabella 1, la tipologia di utenza prevalente è composta da un nucleo familiare di tre persone; fanno eccezione un appartamento pilota con un utente singolo ed uno con due utenti. Inoltre gli appartamenti oggetto di analisi sono caratterizzati da una superficie utile piuttosto elevata.

Tabella 1. Classificazione degli appartamenti pilota per superficie utile e numero di utenti.

CLASSIFICAZIONE DEGLI EDIFICI PILOTA			
ID appartamento	Denominazione	Superficie utile [m ²]	Numero utenti
3	Appartamento pilota n.1	65	3
4	Appartamento pilota n.2	130	3
7	Appartamento pilota n.3	86	1
8	Appartamento pilota n.4	124	3
9	Appartamento pilota n.5	116	2

Ciascun appartamento è dotato di diversi dispositivi elettrici quali elettrodomestici volti alla refrigerazione e congelazione degli alimenti, al lavaggio e asciugatura della biancheria, al lavaggio delle stoviglie, apparecchi per l'illuminazione degli ambienti, apparecchiature situate in postazioni pc e audio-video etc. Di questi solo alcuni sono stati oggetto di monitoraggio per ogni appartamento pilota.

I dispositivi elettrici all'interno delle abitazioni presentano caratteri di eterogeneità in termini di potenza installata e profilo d'uso. La misura totale di energia elettrica richiesta da ogni appartamento ha comunque consentito di condurre una comparazione consistente secondo opportuni indici di normalizzazione. Nelle Tabella 1 Tabella 2 Tabella 3 Tabella 4 Tabella 5 Tabella 6 vengono riportati sinteticamente gli apparecchi monitorati in ciascun appartamento pilota desunti da schede di report elaborate da ENEA tramite interviste agli utenti dei casi di studio.

In particolare, i principali apparecchi monitorati all'interno dei diversi casi di studio sono: **lavatrice** (caso studio 1, 3 e 4), **lavastoviglie** (caso studio 4 e 5), **frigorifero** (caso studio 1, 3, 4 e 5), **forno** (caso studio 2 e 5), **microonde** (caso studio 1 e 5), **televisore** (caso studio 2, 3 e 5), **lampada alogena** (caso studio 1), **termoventilatore** (caso studio 4) e **scaldabagno** (caso studio 5). In tutti gli appartamenti è stato monitorato, tramite il sensore "Energy meter", il consumo elettrico generale al contatore. In due dei casi di studio è presente un impianto fotovoltaico che è stato oggetto di monitoraggio (casi studio 3 e 4+5).

Tabella 2. Apparecchi monitorati con indicazione della classe energetica e frequenza di utilizzo per l'appartamento pilota n.1.

APPARTAMENTO PILOTA n.1		
Apparecchio	Classe energetica	Utilizzo
Lampada alogena (camera da letto)	-	2,5 [ore/giorno]
Frigorifero	B	-
Lampada fluorescente (soggiorno)	-	4 [ore/giorno]
Lavatrice	B	5 [lavaggi settimanali]
Microonde	-	3 [minuti/giorno]

Tabella 3. Apparecchi monitorati con indicazione della classe energetica e frequenza di utilizzo per l'appartamento pilota n.2.

APPARTAMENTO PILOTA n.2		
Apparecchio	Classe energetica	Utilizzo
Tv	-	-
Forno	-	3 [minuti/giorno]

Tabella 4. Apparecchi monitorati con indicazione della classe energetica e frequenza di utilizzo per l'appartamento pilota n.3.

APPARTAMENTO PILOTA n.3		
Apparecchio	Classe energetica	Utilizzo
Lavatrice	A+	2-3 [lavaggi/settimana]
Tv	A	2 [ore/giorno]
Tv	A+	1 [ore/giorno]
Tv	A+	5 [ore/giorno]
Frigorifero	A+	-

Tabella 5. Apparecchi monitorati con indicazione della classe energetica e frequenza di utilizzo per l'appartamento pilota n.4.

APPARTAMENTO PILOTA n.4		
Apparecchio	Classe energetica	Utilizzo
Termoventilatore (bagno grande)	-	15 [minuti/giorno]
Termoventilatore (bagno piccolo)	-	15 [minuti/giorno]
Lavatrice	A	5 [lavaggi/settimana]
Frigorifero	A	-
Lavastoviglie	A+	7 [lavaggi/settimana]

Tabella 6. Apparecchi monitorati con indicazione della classe energetica e frequenza di utilizzo per l'appartamento pilota n.5.

APPARTAMENTO PILOTA n.5		
Apparecchio	Classe energetica	Utilizzo
Tv	A+	4[ore/giorno]
Microonde	-	5 [minuti/giorno]
Frigorifero	A	-
Lavastoviglie	A+	7 [lavaggi/settimana]
Forno	B	20 [utilizzi/mese]
Scaldabagno	-	-

L'analisi dei dati collezionati nei diversi edifici pilota ha riguardato, in primo luogo, la valutazione della qualità dei dati di monitoraggio per evidenziare eventuali criticità di acquisizione e trasmissione dei dati.

Per questo motivo, l'analisi della qualità dei dati di monitoraggio è stata condotta per verificare l'accuratezza della grandezza misurata, il periodo di campionamento, la frequenza temporale di acquisizione, il numero totale di valori registrati durante l'intero periodo di monitoraggio, la quantità di dati mancanti e l'attendibilità dei dati acquisiti.

I dati collezionati nei diversi casi di studio sono stati estratti dalla piattaforma di acquisizione da ENEA e successivamente elaborati dal Politecnico di Torino. In questa fase dello studio, per ogni edificio pilota monitorato sono stati analizzati i dati di potenza media oraria ed energia elettrica per verificarne il loro possibile impiego nelle successive fasi di elaborazione.

Solitamente, nelle campagne di monitoraggio, il processo di verifica della qualità dei dati è un'operazione che si ripete periodicamente per ottenere un'architettura di monitoraggio ottimizzata. Nello schema riportato di seguito (Figura 1), vengono identificate e strutturate le varie fasi di analisi.

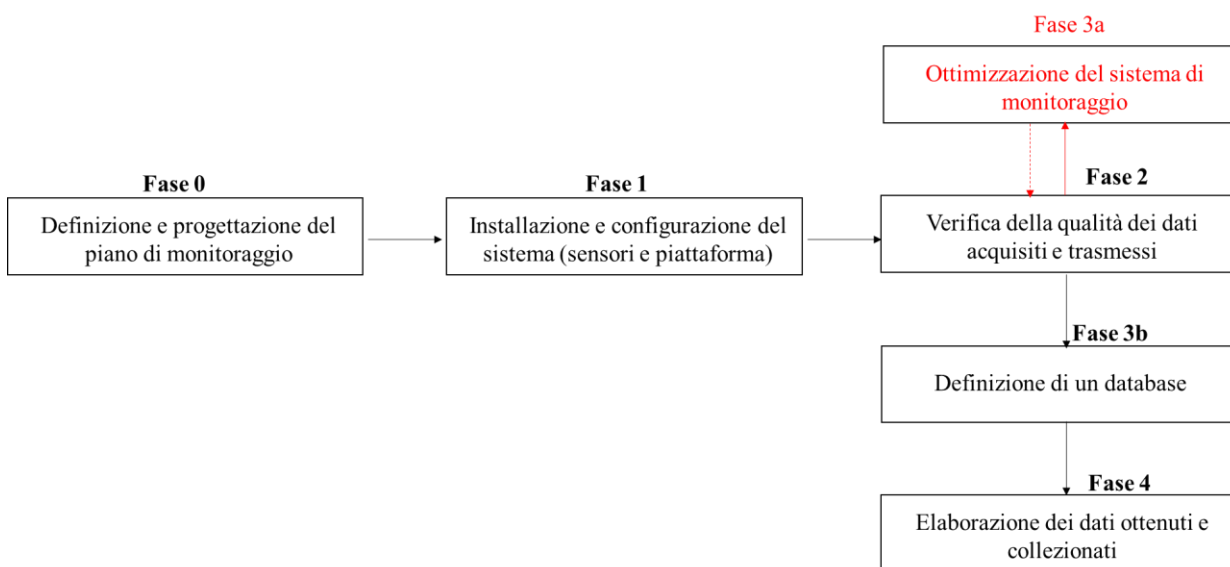


Figura 1. Schema di elaborazione ed analisi dei dati di monitoraggio.

In Figura 1 è illustrato l'intero processo di creazione ed ottimizzazione del sistema di monitoraggio e quello di elaborazione dati. Come indicato, successivamente alle prime fasi di redazione di un piano di monitoraggio energetico ed ambientale e la sua effettiva messa in opera e configurazione, inizia un processo di analisi dati destinato all'ottimizzazione del sistema. Una volta che il sistema è stato configurato e l'acquisizione dei dati di monitoraggio è iniziata, si passa ad una fase di analisi dei dati sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. Occorre, infatti, verificare che i parametri descritti all'interno del piano di monitoraggio siano rispettati (ad esempio la frequenza di acquisizione e l'assenza di dati mancanti), dopodiché è necessario analizzare l'effettiva coerenza ed attendibilità dei dati di monitoraggio rispetto ai risultati attesi. Nel caso in cui quest'analisi evidenzia delle anomalie, queste devono essere corrette e, solo successivamente, si potrà procedere alle fasi di elaborazione successive. Nel caso in cui il sistema funzioni correttamente, i dati di monitoraggio andranno a costituire un database che costituirà la base delle informazioni utili alle fasi di elaborazione ed analisi dati.

È molto importante sottolineare che questo processo di verifica della qualità dei dati è ciclico. Esso dovrà essere ripetuto più volte, fintanto che l'intero sistema di monitoraggio non risponderà a tutti i requisiti di partenza.

Per ogni sensore installato all'interno dei 5 casi di studio è stato quindi esaminato l'andamento dei dati mancanti nel tempo e indicata la percentuale di dati monitorati nel periodo di riferimento. Questo studio iniziale, approfondito nel successivo paragrafo 2.1.1, ha permesso di trarre alcune conclusioni riguardanti:

- il periodo di acquisizione completa dei dati da parte del sistema di monitoraggio;
- la corretta trasmissione dati nel periodo di riferimento da parte dei sensori;

- il periodo di attività (o inattività) dei sensori.

2.1.1 Tendenze e distribuzioni

Questa attività ha riguardato l'analisi dei dati provenienti dai diversi edifici pilota attraverso elaborazioni di statistica descrittiva quali istogrammi, analisi in frequenza, profili di consumo giornalieri, al fine di estrarre le principali caratteristiche di utilizzo dell'energia elettrica dei diversi appartamenti.

Dall'elaborazione delle misure ottenute attraverso l'attività di monitoraggio è stato possibile ricavare, oltre ai profili temporali delle potenze medie nel tempo relative ai singoli apparecchi, anche grandezze volte ad una caratterizzazione statistica descrittiva dei consumi energetici totali di ciascun appartamento. In particolare sono stati calcolati:

- i valori massimo, minimo, medio e deviazione standard delle potenze di ciascun apparecchio monitorato per periodi consistenti e significativi;
- i quartili delle distribuzioni di potenza e/o energia totali e per i diversi apparecchi monitorati;
- la frequenza e la frequenza cumulata di potenza richiesta sul periodo esaminato.

Nell'analisi della caratterizzazione energetica di un appartamento risulta significativo l'esame delle curve di distribuzione in frequenza e di frequenza cumulata; nello specifico la frequenza cumulata di una grandezza, riferita allo specifico periodo di rilevazione, associa ad ogni valore della grandezza esaminata la percentuale di occorrenza in cui la grandezza stessa è risultata inferiore a un valore preso a riferimento.

Di seguito vengono riportati i risultati delle analisi dei dati provenienti da ciascun caso di studio, evidenziando per ognuno di essi il periodo di installazione dei sensori e il periodo considerato utile ai fini delle analisi a partire dall'indagine sui dati mancanti per ciascun sensore.

Appartamento pilota n.1

In Tabella 7 è riportata la sintesi degli apparecchi elettrici monitorati all'interno dell'appartamento pilota n. 1, con l'indicazione del periodo di installazione del sensore, il periodo ritenuto utile ai fini del monitoraggio e i dati mancanti in tale periodo. In questo caso di studio i valori mancanti, espressi in forma percentuale rispetto al numero di giorni totali di installazione nel mese preso in considerazione, sono dovuti al passaggio dall'ora solare all'ora legale (assenza di dati tra le ore 02:00 e le ore 03:00 del 26 marzo) e all'installazione di un nuovo modem (avvenuta il 7 maggio) che ha condotto a un più efficace e corretto invio dei dati monitorati al contatore (tramite il sensore Energy Meter): infatti, le rilevazioni antecedenti questa data si presentano lacunose in alcuni periodi della giornata.

Tabella 7. Apparecchi monitorati con indicazione dei giorni di mancanza dei dati per l'appartamento pilota 1.

APPARTAMENTO PILOTA n.1								
Sensore	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Periodo di installazione del sensore	Periodo di monitoraggio considerato
Home Energy Meter Contatore generale elettrico		-	3,3%	6,5%	-	4,3%	Dal 03.03 al 23.07	Dal 07.05 al 23.07
Smart Plug Frigorifero	55,6%	-	3,3%	9,7%	-	4,3%	Dal 11.02 al 23.07	Dal 01.03 al 23.07
Smart Plug Microonde		3,4%	3,3%	9,7%	-	4,3%	Dal 03.03 al 23.07	Dal 03.03 al 23.07

Smart Plug Lavatrice		-	3,3%	9,7%	-	4,3%	Dal 05.03 al 23.07	Dal 05.03 al 23.07
Smart Plug Lampada alogena	0,50%	-	3,3%	9,7%	-	4,3%	Dal 11.02 al 23.07	Dal 01.03 al 23.07
Micro Smart Switch Lampada fluorescente		6,9%	13,3%	12,9%	16,7%	56,5%	Dal 03.03 al 23.07	Dal 03.03 al 30.06

L'istogramma presentato in Figura 2 mostra l'andamento in frequenza e frequenza cumulata dei consumi di energia elettrica dell'appartamento n.1 misurati dal sensore "Energy Meter" nel periodo 07/05/2017-23/07/2017. Il grafico deve essere letto in combinazione con il box plot presentato in Figura 3, che rappresenta la distribuzione in termini di percentili della distribuzione statistica dei consumi. In particolare, dai due grafici emerge che il 95% dei consumi risulta inferiore a 8250 Wh, con un IQR (interquartile) compreso tra 4750 Wh (25° percentile) e 6410 Wh (75° percentile) con una mediana di circa 5600 Wh. Si evidenziano come statisticamente anomali (outlier) valori di energia superiori a 8900 Wh. L'analisi degli outlier ha evidenziato che tali valori si verificano durante giorni lavorativi nel periodo estivo.

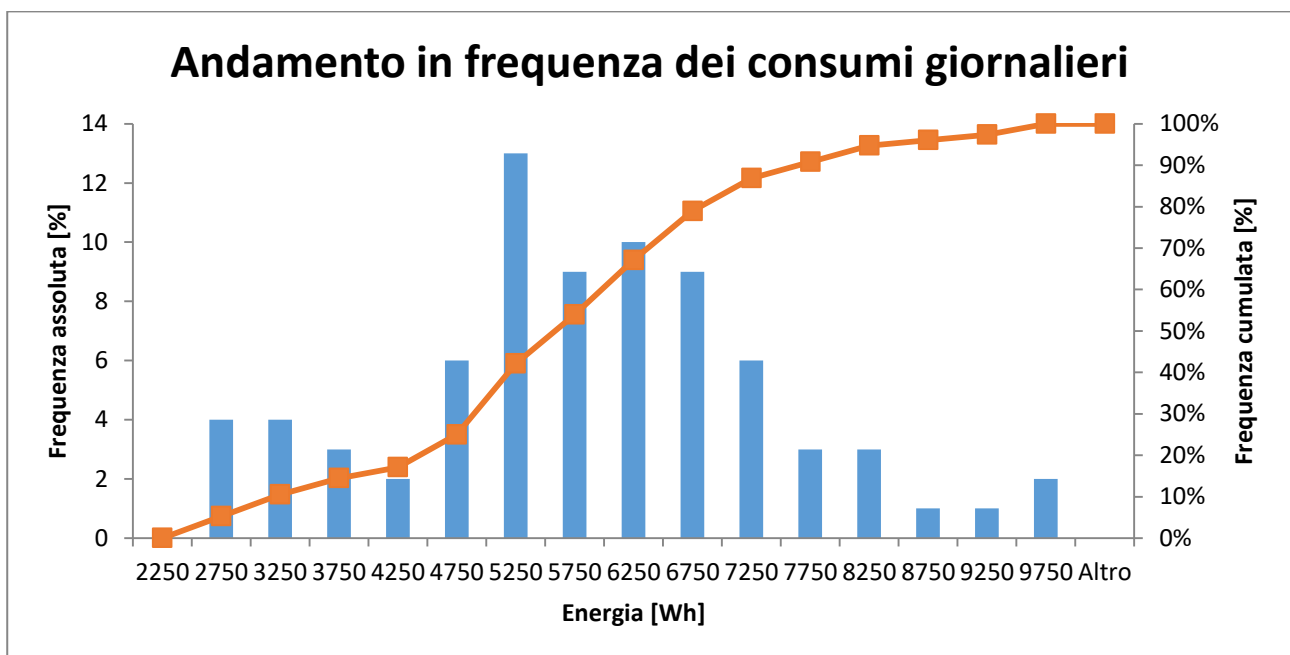


Figura 2. Andamento in frequenza dei consumi dell'edificio pilota n.1.

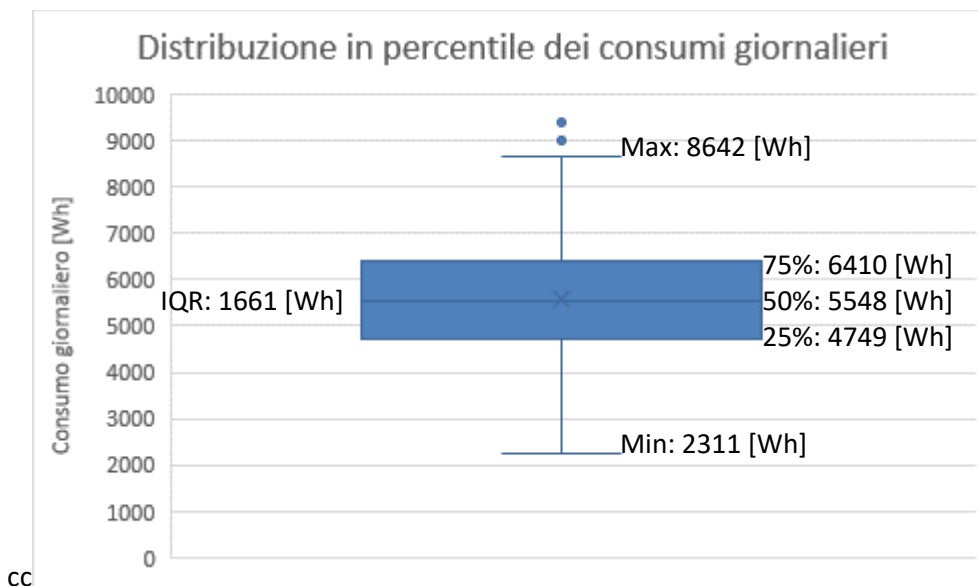


Figura 3. Distribuzione in frequenza attraverso rappresentazione box plot dei consumi dell’edificio pilota n.1.

La caratterizzazione di ciascun appartamento è stata poi effettuata tramite la valutazione del consumo medio giornaliero per una settimana tipica. In Figura 4 viene riportata la mappatura dei consumi medi giornalieri, misurati al contatore, nell’appartamento pilota n.1. Non emergono significative differenze nel consumo giornaliero durante la settimana tipo, evidenziando una media (in rosso) per i giorni feriali pressoché identica alla media (in verde) nei weekend.

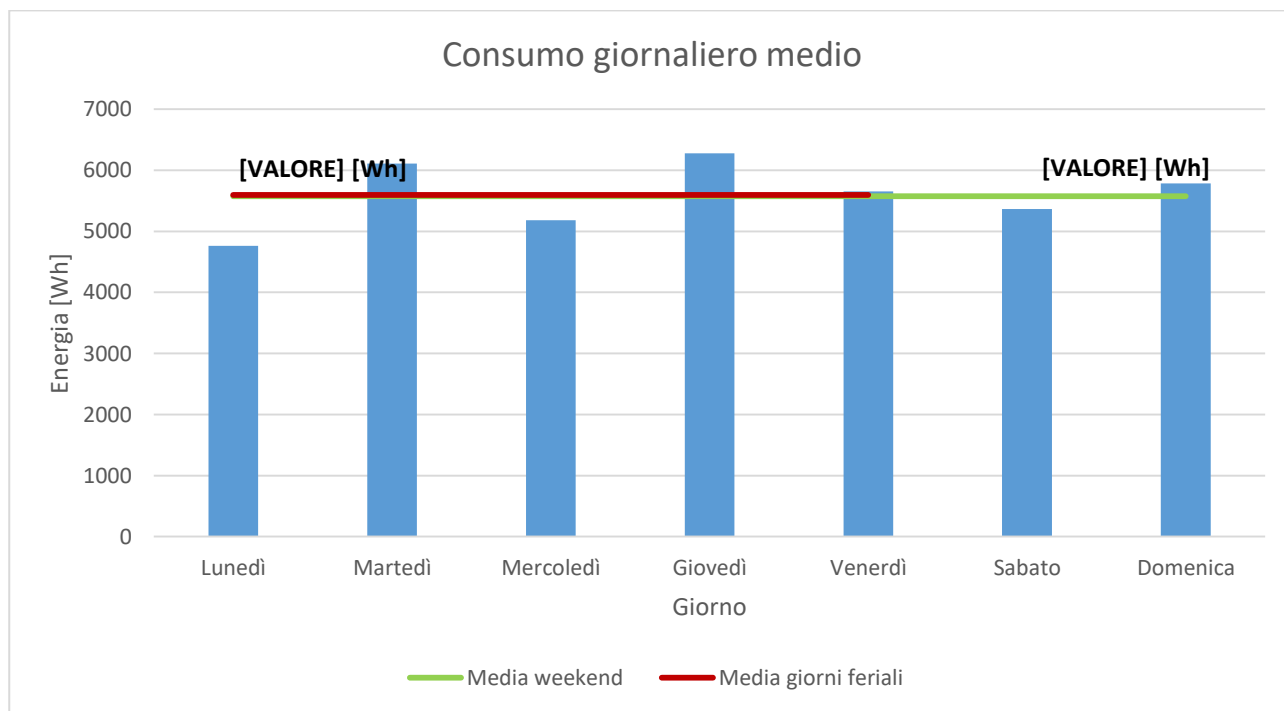


Figura 4. Consumi medi giornalieri di energia elettrica per l’edificio pilota n.1.

Appartamento pilota n.2

In Tabella 8 viene riportata la sintesi degli apparecchi elettrici monitorati all'interno dell'appartamento pilota n. 2, con l'indicazione del periodo di installazione del sensore, il periodo ritenuto utile ai fini del monitoraggio e i dati mancanti in tale periodo. In questo caso di studio, sono stati valutati come dati mancanti, espressi in forma percentuale rispetto al numero di giorni totali di installazione nel mese preso in considerazione, i dati relativi al periodo di passaggio all'ora legale (assenza di dati tra le ore 02:00 e le ore 03:00 del 26 marzo), i giorni in cui si è verificata una percentuale di valori mancanti superiore al 5% ed, infine, i giorni in cui erano presenti valori anomali (potenze acquisite con ordini di grandezza due volte maggiori il valore medio di potenza di un normale apparecchio).

Tabella 8. Apparecchi monitorati con indicazione dei giorni di mancanza dei dati per l'appartamento pilota n.2.

APPARTAMENTO PILOTA n.2									
Sensore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Periodo di installazione del sensore	Periodo di monitoraggio considerato
Home Energy Meter Contatore generale elettrico	43,5%	42,9%	3,2%	-	25,8%	6,7%	4,3%	Dal 09.01 al 23.07	Dal 01.03 al 23.07
Smart Plug Forno	-	50,0%	-	-	9,7%	-	8,7%	Dal 28.01 al 23.07	Dal 01.03 al 23.07
Smart Plug Televisore	43,5%	50,0%	-	-	12,9%	-	8,7%	Dal 09.01 al 23.07	Dal 01.03 al 23.07

L'istogramma presentato in Figura 5. Andamento in frequenza dei consumi dell'edificio pilota n.2. Figura 5 mostra l'andamento in frequenza e frequenza cumulata dei consumi dell'appartamento n.2 misurati al contatore di energia generale nel periodo 01/03/2017-23/07/2017. Il grafico, letto in combinazione con il box plot presentato in Figura 6, consente di descrivere statisticamente i consumi di energia elettrica, definendo l'andamento in frequenza dei consumi e la loro distribuzione in termini di percentili. I consumi giornalieri dell'appartamento n.2 sono concentrati nel range tra 4790 Wh (25° percentile) 7935 Wh (75° percentile). Il 97% dei valori di consumo risulta inferiore a 10800 Wh e la media di è 6500 Wh. La distribuzione statistica rappresentata in Figura 6 evidenzia che si considerano valori statisticamente anomali quelli superiori a 12650 Wh. Il successivo esame degli outliers ha evidenziato che questi si sono verificati in corrispondenza di due giorni festivi (domenica).

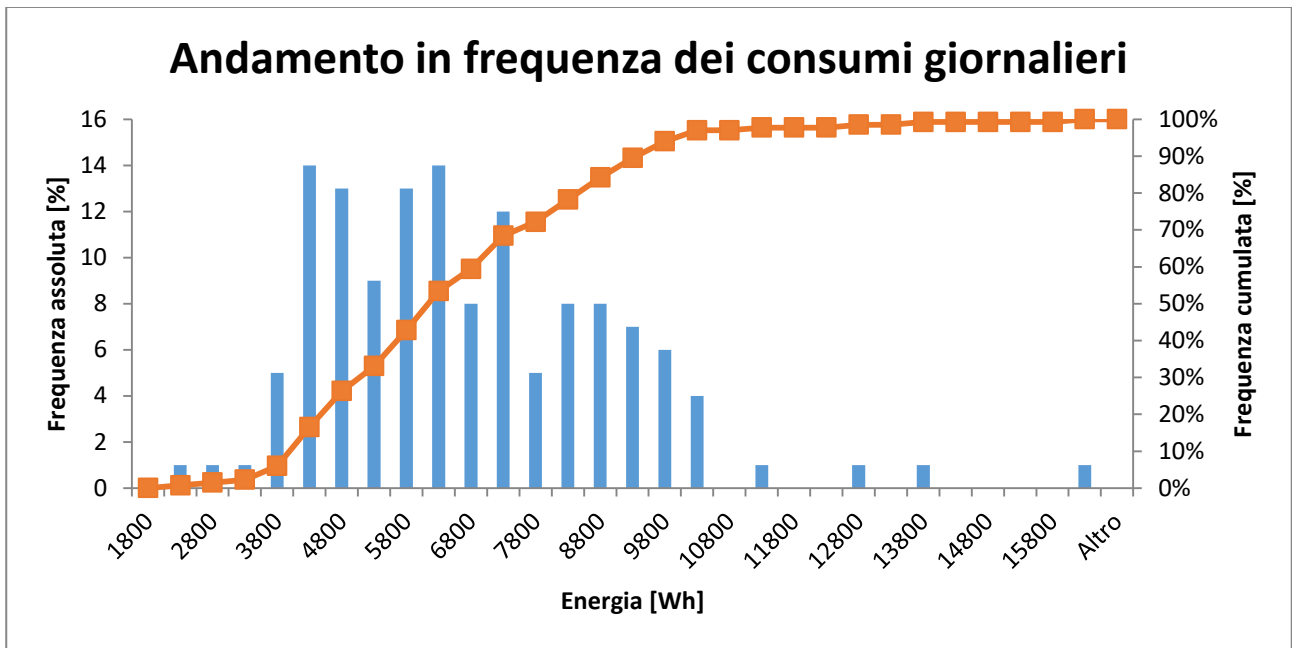


Figura 5. Andamento in frequenza dei consumi dell'edificio pilota n.2.

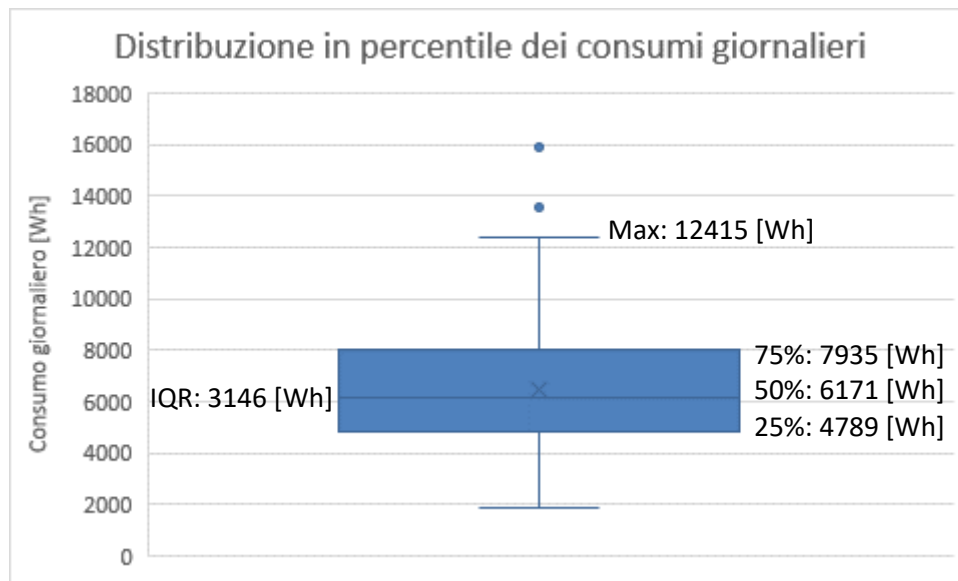


Figura 6. Distribuzione in frequenza attraverso rappresentazione box plot dei consumi dell'edificio pilota n.2.

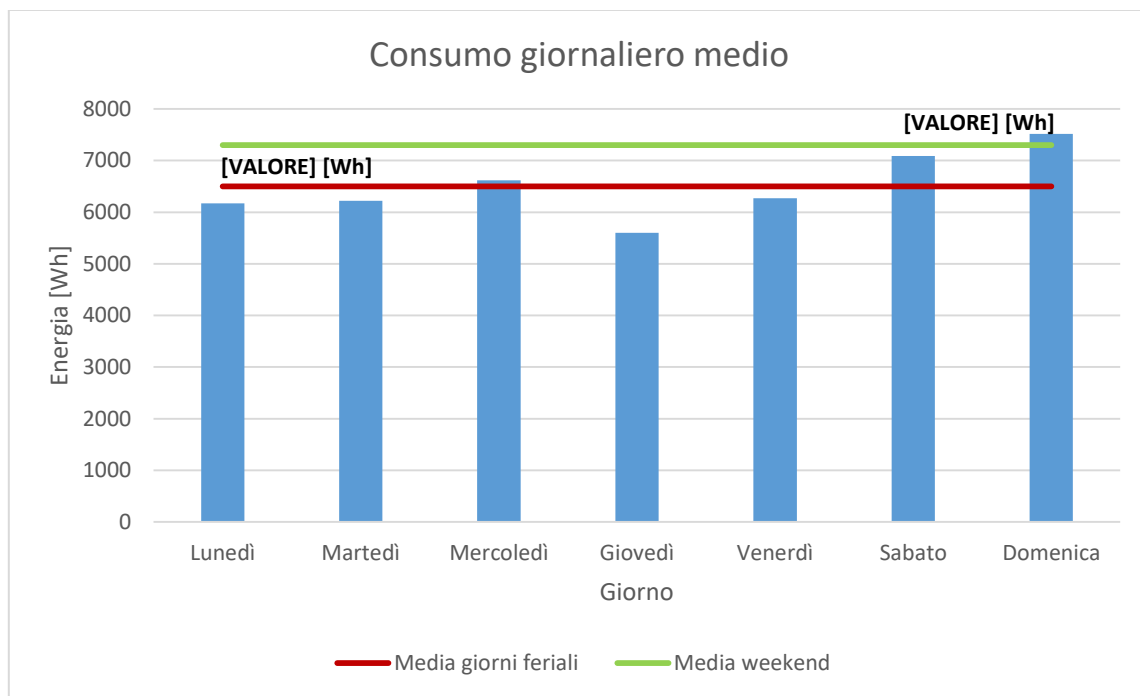


Figura 7. Consumi medi giornalieri di energia elettrica per l'edificio pilota n.2.

Il grafico in Figura 7, che riporta il consumo di energia elettrica misurato al contatore generale, fa emergere un diverso utilizzo di energia elettrica nei giorni feriali e festivi, mostrando un incremento del consumo durante il fine settimana (+12%).

Appartamento pilota n.3

In Tabella 9 viene riportata la sintesi degli apparecchi elettrici monitorati all'interno dell'appartamento pilota n. 3, con l'indicazione del periodo di installazione del sensore, il periodo ritenuto utile ai fini del monitoraggio e i dati mancanti in tale periodo. In questo caso di studio, sono stati valutati come dati mancanti, espressi in forma percentuale rispetto al numero di giorni totali di installazione nel mese preso in considerazione, i dati relativi al periodo di passaggio all'ora legale (assenza di dati tra le ore 02:00 e le ore 03:00 del 26 marzo), i giorni in cui si è verificata una percentuale di valori mancanti superiore al 5% ed, infine, i giorni in cui erano presenti valori anomali (potenze acquisite con ordini di grandezza due volte maggiori il valore medio di potenza di un normale apparecchio).

Tabella 9. Apparecchi monitorati con indicazione dei giorni di mancanza dei dati per l'appartamento pilota n.3.

APPARTAMENTO PILOTA n.3							
Sensore	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Periodo di installazione del sensore	Periodo di monitoraggio considerato
Home Energy Meter Contatore generale elettrico	11,8%	63,3%	38,7%	60,0%	56,5%	Dal 15.03 al 23.07	Dal 16.03 al 23.07

Home Energy Meter Impianto fotovoltaico	29,6%	40,0%	29,0%	36,7%	34,8%	Dal 05.03 al 23.07	Dal 13.03 al 23.07
Smart Plug Frigorifero	-	6,7%	3,2%	-	4,3%	Dal 04.03 al 23.07	Dal 06.03 al 23.07
Smart Plug Lavatrice	3,6%	6,7%	3,2%	10%	8,7%	Dal 04.03 al 23.07	Dal 04.03 al 23.07
Smart Plug Televisore 1	-	26,7%	3,2%	-	4,3%	Dal 04.03 al 23.07	Dal 04.03 al 23.07
Smart Plug Televisore 2	-	26,7%	9,7%	3,3%	8,7%	Dal 05.03 al 23.07	Dal 07.03 al 23.07
Smart Plug Televisore 3	5,0%	6,7%	3,2%	-	4,3%	Dal 12.03 al 23.07	Dal 12.03 al 23.07

La lettura combinata del grafico in Figura 8 e del grafico in Figura 9 fa emergere come il 90% dei consumi sia inferiore a 8000 Wh, considerando un IQR compreso tra 3370 Wh (25° percentile) e 5460 Wh (75° percentile). Sono risultati valori anomali quelli superiori a 8600 Wh (box plot in Figura 9). L'analisi successiva degli outliers ha evidenziato che tali valori non sono associati a particolari festività, ma a normali giorni lavorativi.

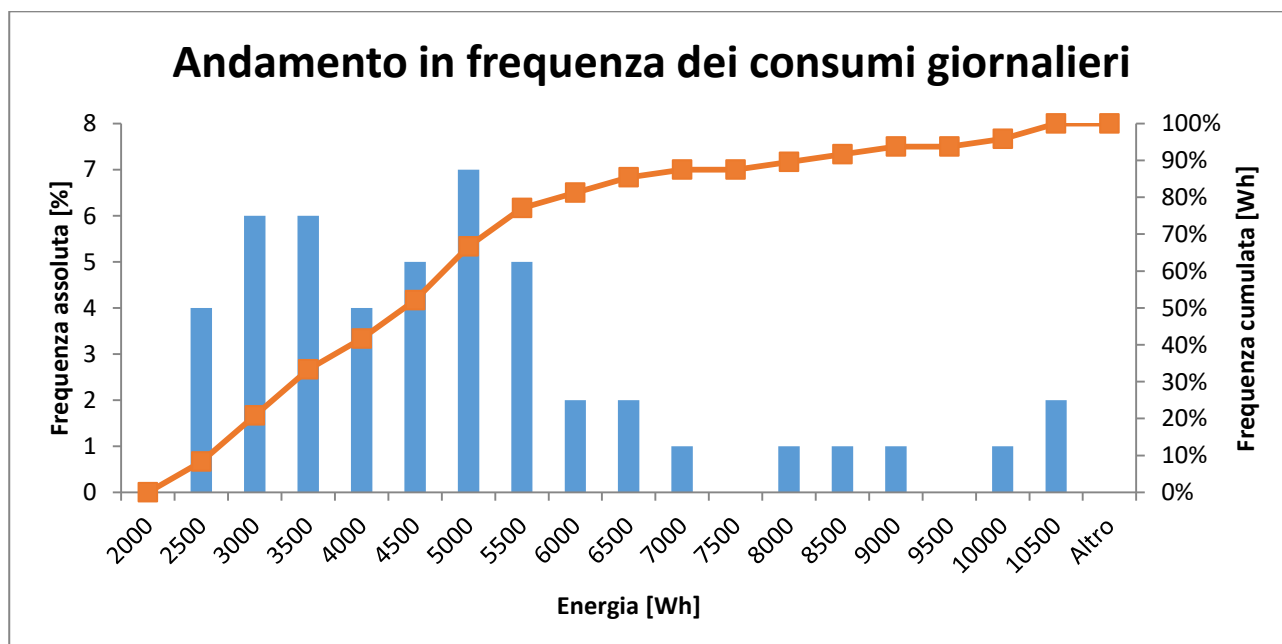


Figura 8. Andamento in frequenza dei consumi dell'edificio pilota n.3.

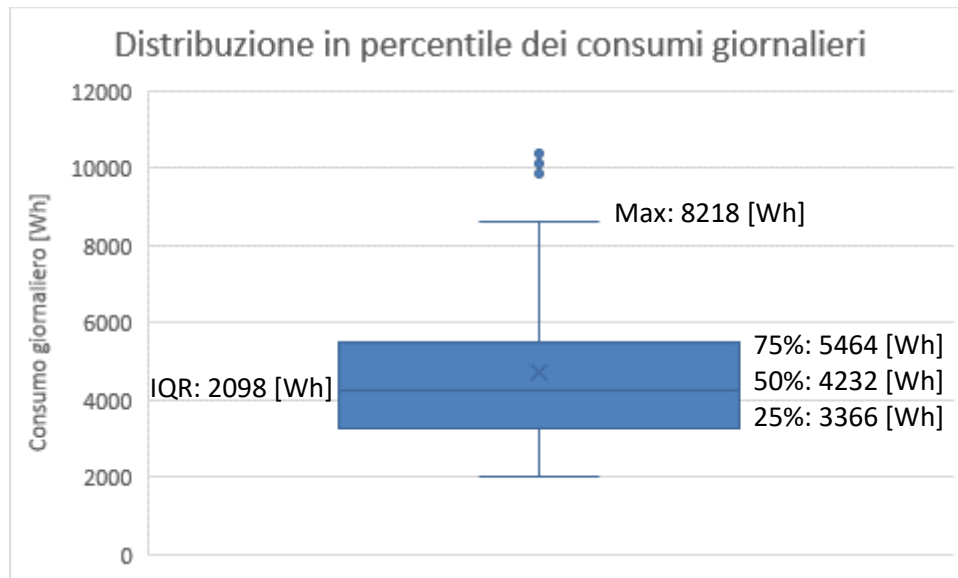


Figura 9. Distribuzione in frequenza attraverso rappresentazione box plot dei consumi dell'edificio pilota n.3.

Il consumo medio giornaliero misurato al contatore rappresentato in Figura 10, non dimostra significative differenze tra i giorni feriali e il fine settimana, mostrando solo una modesta diminuzione dei consumi durante il fine settimana (-6%).

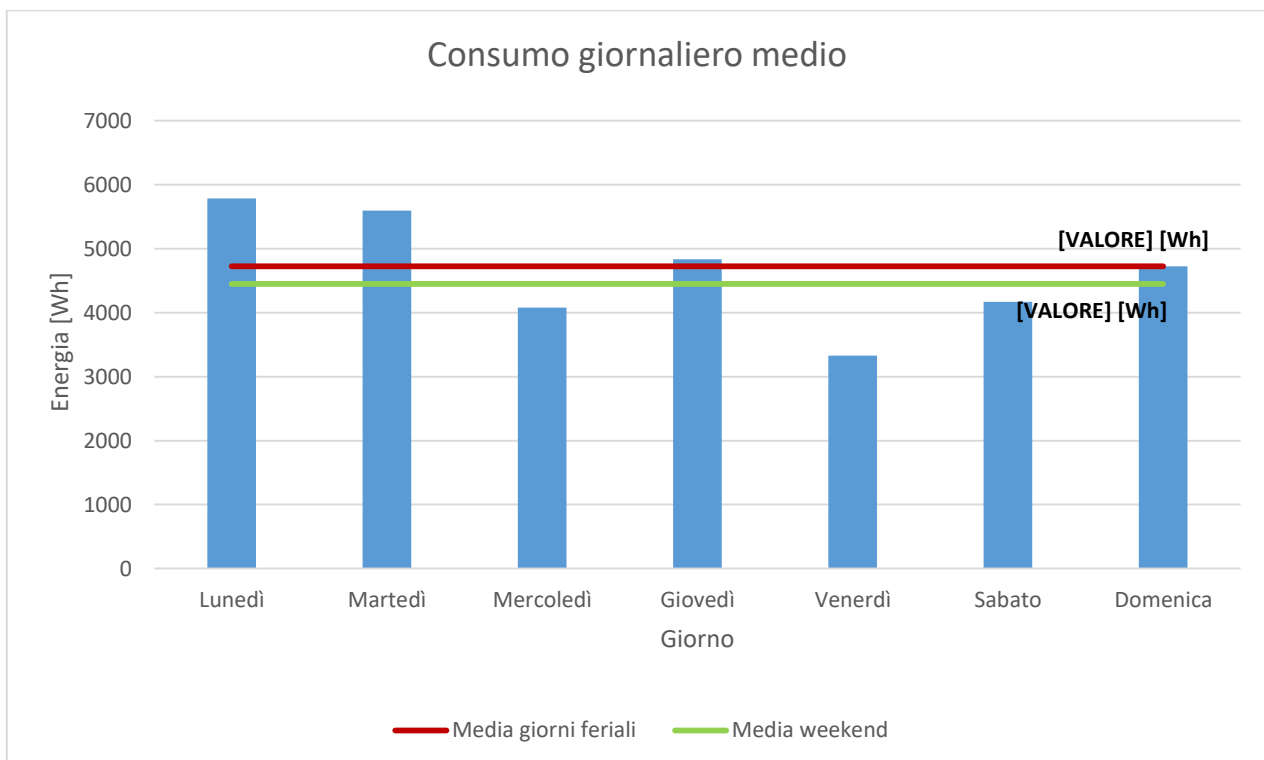


Figura 10. Consumi medi giornalieri di energia elettrica per l'edificio pilota n.3.

Appartamento pilota n.4

In Tabella 10 viene riportata la sintesi degli apparecchi elettrici monitorati all'interno dell'appartamento pilota n. 4, con l'indicazione del periodo di installazione del sensore, il periodo ritenuto utile ai fini del monitoraggio e i dati mancanti in tale periodo. In questo caso di studio, sono stati valutati come dati mancanti, espressi in forma percentuale rispetto al numero di giorni totali di installazione nel mese preso in considerazione, i dati relativi al periodo di passaggio all'ora legale (assenza di dati tra le ore 02:00 e le ore 03:00 del 26 marzo) ed i giorni in cui si è verificata una percentuale di valori mancanti superiore al 5%. L'impianto fotovoltaico installato è comune per l'appartamento pilota n.4 e per l'appartamento pilota n.5.

Tabella 10. Apparecchi monitorati con indicazione dei giorni di mancanza dei dati per l'appartamento pilota n.4.

APPARTAMENTO PILOTA n.4								
Sensore	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Periodo di installazione del sensore	Periodo di monitoraggio considerato
Home Energy Meter Contatore generale elettrico	22,2%	9,7%	3,3%	3,2%	10,0%	4,3%	Dal 20.02 al 23.07	Dal 21.02 al 23.07
Home Energy Meter Impianto fotovoltaico**					10,0%	13,0 %	Dal 10.06 al 23.07	Dal 11.06 al 23.07
Smart Plug Frigorifero	-	-	-	3,2%	-	4,3%	Dal 19.02 al 23.07	Dal 01.03 al 23.07
Smart Plug Lavastoviglie	-	-	-	3,2%	-	4,3%	Dal 19.02 al 23.07	Dal 20.02 al 23.07
Smart Plug Lavatrice	-	-	-	3,2%	-	4,3%	Dal 18.02 al 23.07	Dal 19.02 al 23.07
Smart Plug Termoventilatore 1	27,2%	96,8%	60,0%	3,2%	-	26,1 %	Dal 18.02 al 23.07	Dal 19.04 al 16.07
Smart Plug Termoventilatore 2	27,2%	80,6%	60,0%	3,2%	-	17,4 %	Dal 18.02 al 23.07	Dal 19.04 al 23.07

L'istogramma presentato in Figura 11 mostra l'andamento in frequenza e frequenza cumulata dei consumi dell'appartamento n.4 misurati al contatore di energia generale nel periodo 22/02/2017-23/07/2017. Il grafico mostra come i consumi giornalieri dell'appartamento n.4 si concentrano nel range tra 4640 Wh (25° percentile) e 7160 Wh (75° percentile). Il 98% dei valori ricade al di sotto di 9000 Wh, con una media di 5950 Wh e una distribuzione statistica rappresentata in Figura 12. L'unico valore anomalo evidenziato dall'analisi in Figura 12 corrisponde ad un giorno festivo (1 maggio).

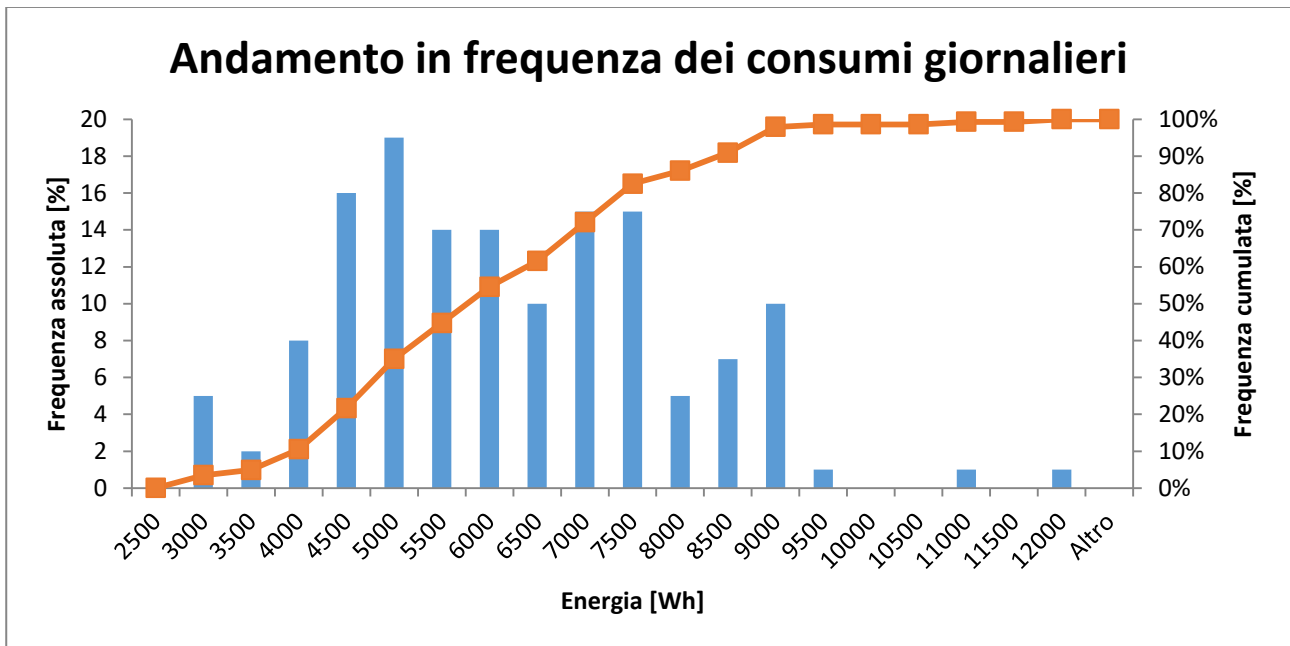


Figura 11. Andamento in frequenza dei consumi dell'edificio pilota n.4.

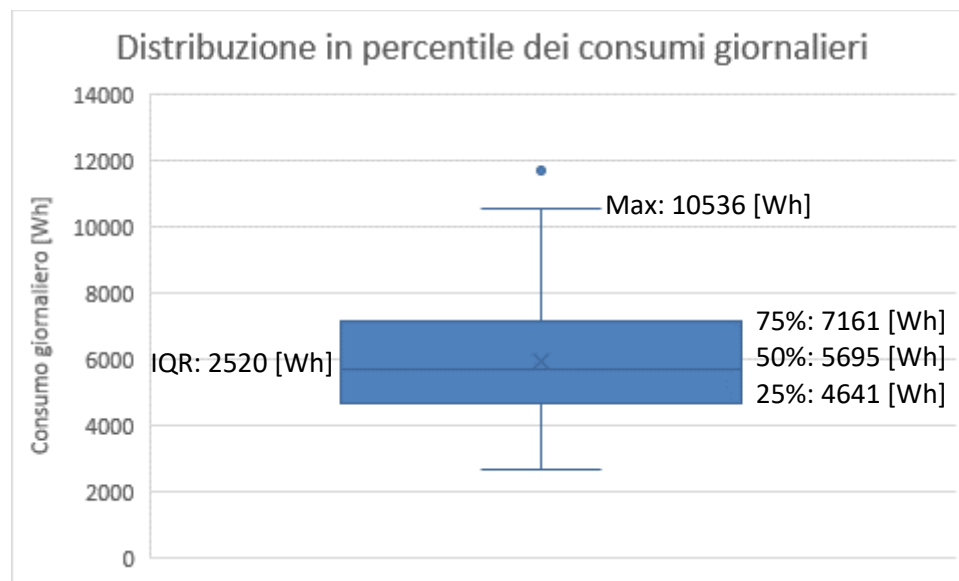


Figura 12. Distribuzione in frequenza attraverso rappresentazione box plot dei consumi dell'edificio pilota n.4.

La Figura 13 mostra che il consumo giornaliero medio dell'appartamento pilota n.4 incrementa durante i fine settimana rispetto ai giorni feriali (+19%), dimostrando un diverso comportamento nell'utilizzo delle apparecchiature elettriche.

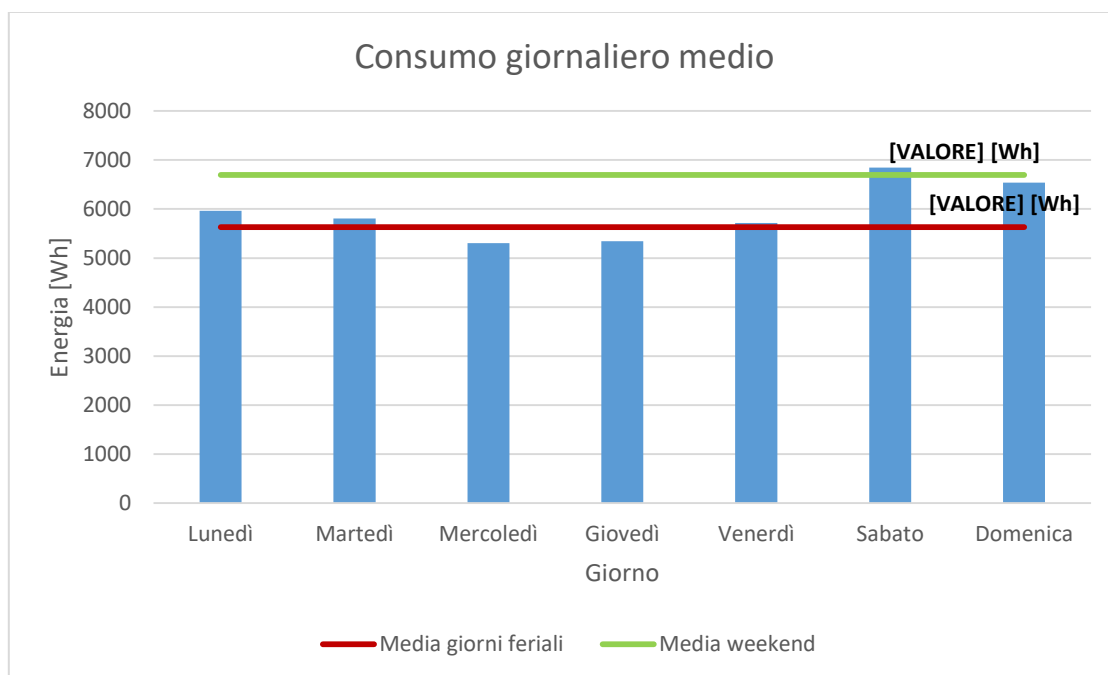


Figura 13. Consumi medi giornalieri di energia elettrica per l’edificio pilota n.4.

Appartamento pilota n.5

In Tabella 11 viene riportata la sintesi degli apparecchi elettrici monitorati all’interno dell’appartamento pilota n. 5, con l’indicazione del periodo di installazione del sensore, il periodo ritenuto utile ai fini del monitoraggio e i dati mancanti in tale periodo. In questo caso di studio, sono stati valutati come dati mancanti, espressi in forma percentuale rispetto al numero di giorni totali di installazione nel mese preso in considerazione, i dati relativi al periodo di passaggio all’ora legale (assenza di dati tra le ore 02:00 e le ore 03:00 del 26 marzo) ed i giorni in cui si è verificata una percentuale di valori mancanti superiore al 5%. L’impianto fotovoltaico presente è comune per l’appartamento pilota n.4 e per l’appartamento pilota n.5. Da segnalare che l’appartamento pilota n.5 è non occupato durante il mese di giugno.

Tabella 11. Apparecchi monitorati con indicazione dei giorni di mancanza dei dati per l’appartamento pilota n.5.

Sensore	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Periodo di installazione del sensore	Periodo di monitoraggio considerato
Home Energy Meter Contatore generale elettrico	12,9%	6,7%	9,7%	-	4,3%	Dal 19.03 al 23.07	Dal 20.03 al 13.06
Home Energy Meter Impianto fotovoltaico				10%	13,0%	Dal 10.06 al 23.07	Dal 11.06 al 23.07
Smart Plug Frigorifero	-	-	3,2%	-	4,3%	Dal 16.03 al 23.07	Dal 17.03 al 05.07

Smart Plug Forno	-	-	3,2%	-	4,3%	Dal 16.03 al 23.07	Dal 17.03 al 13.06
Smart Plug Microonde	-	-	3,2%	60,0%	81,8%	Dal 16.03 al 22.07	Dal 16.03 al 13.06
Smart Plug Lavastoviglie	-	-	3,2%	-	4,3%	Dal 16.03 al 22.07	Dal 19.03 al 13.06
Smart Plug Televisore	-	-	3,2%	-	4,3%	Dal 16.03 al 22.07	Dal 16.03 al 12.06
Smart Plug Scaldabagno	-	-	3,2%	-	4,5%	Dal 16.03 al 22.07	Dal 20.03 al 13.06

L'andamento in frequenza e frequenza cumulata dei consumi dell'appartamento pilota n.5 misurati al contatore elettrico nel periodo 22/02/2017-23/07/2017 viene riportato in Figura 14. Il grafico mostra come i consumi giornalieri dell'appartamento n.5 si concentrano nel range tra 3500 Wh (25° percentile) e 4500 Wh (75° percentile). Il 90% dei valori risulta inferiore a 5500 Wh, con una media di 4000 Wh e una distribuzione statistica rappresentata in Figura 15.

Sono risultati valori anomali quelli superiori a 5900 Wh e inferiori a 2185 Wh. In particolare, i valori di outliers sono riconducibili a festività (nel periodo pasquale) o fine settimana.

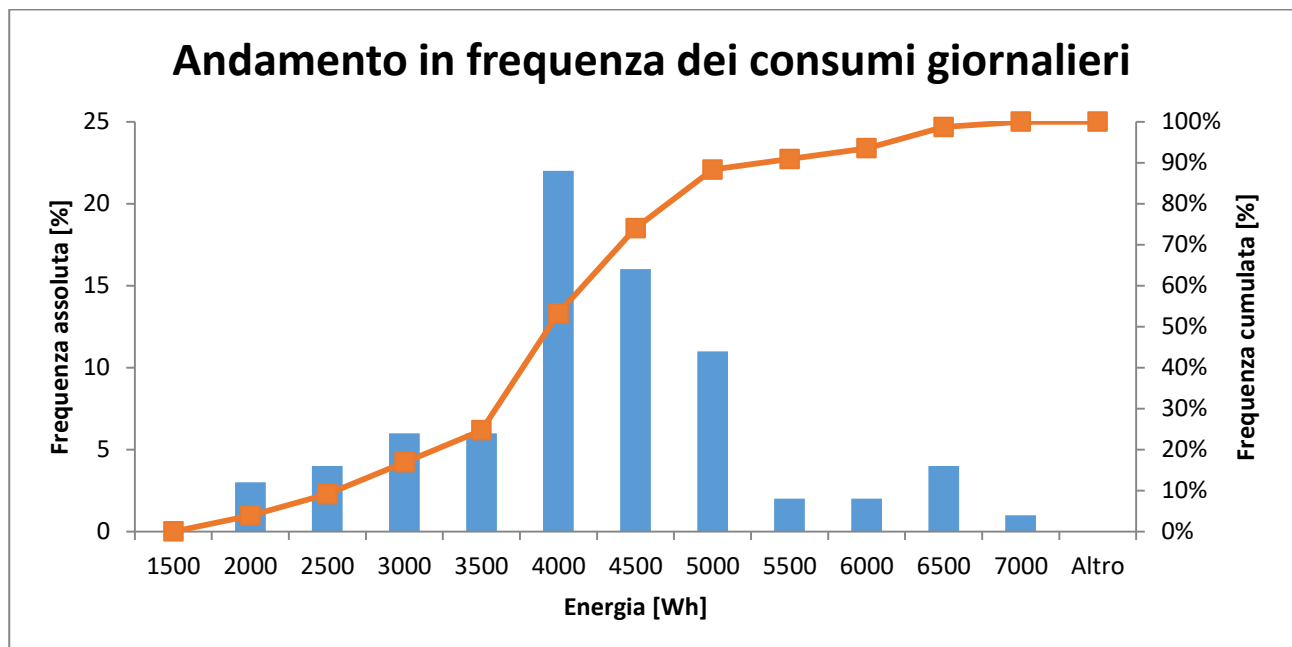


Figura 14. Andamento in frequenza dei consumi dell'edificio pilota n.5.

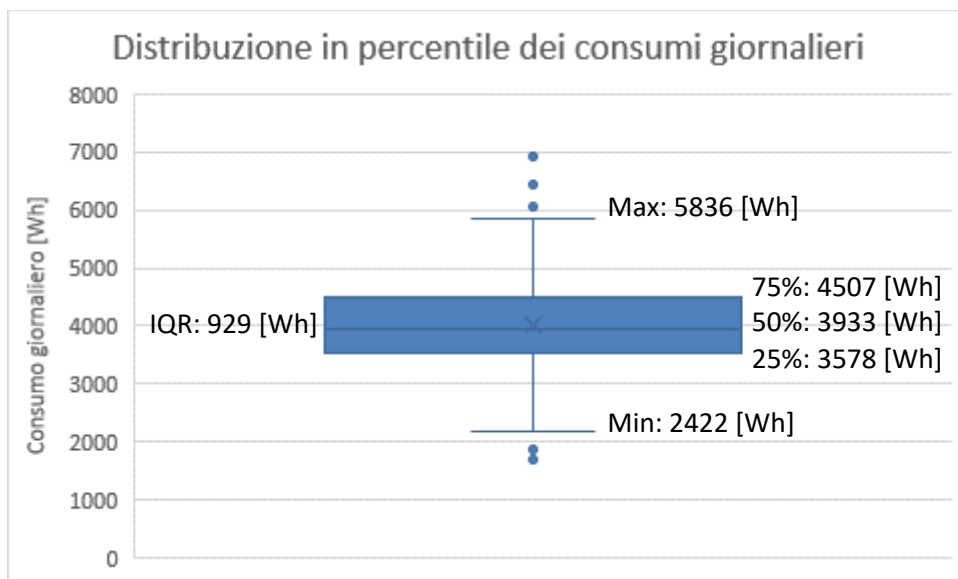


Figura 15. Distribuzione in frequenza attraverso rappresentazione box plot dei consumi dell’edificio pilota n.5.

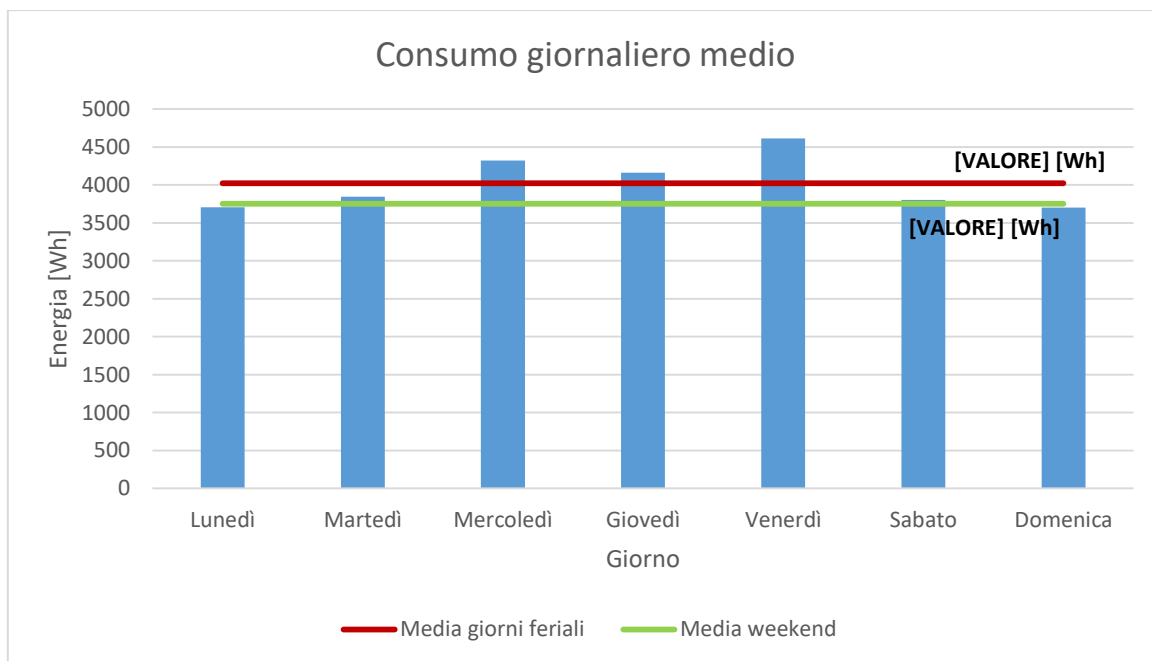


Figura 16. Consumi medi giornalieri di energia elettrica per l’edificio pilota n.5.

In Figura 16, i consumi medi giornalieri dell’appartamento pilota n.5 mostrano un andamento pressoché invariato durante l’intera settimana, con un lieve decremento durante il weekend (-6%).

2.1.2 Identificazione della tipologia di utente.

L’analisi statistica dei dati provenienti da ciascun edificio pilota è stata propedeutica alla caratterizzazione della tipologia di utente prevalente di ciascun appartamento. I comportamenti degli utenti dei 5 diversi casi di studio possono essere caratterizzati dunque sulla base dell’energia media consumata.

Il consumo di energia elettrica risulta dipendere da:

- Il numero di persone che vivono nell’abitazione;
- Il comportamento degli utenti riguardo le abitudini d’uso degli apparecchi elettrici;

- Il numero e la tipologia degli apparecchi elettrici presenti in abitazione;
- Le caratteristiche dell'abitazione.

Legenda

- Edificio pilota n°1
- Edificio pilota n°4
- Edificio pilota n°2
- Edificio pilota n°5
- Edificio pilota n°3

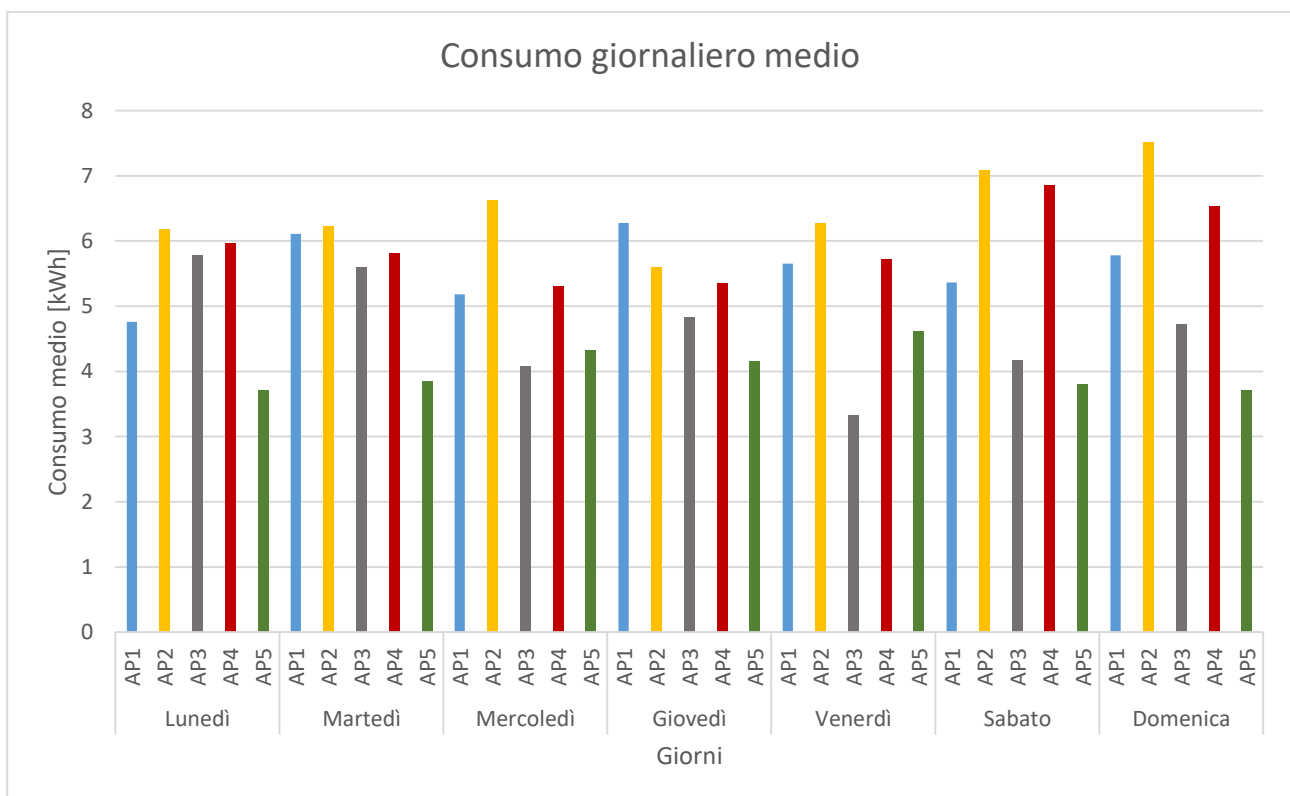


Figura 17. Consumo medio giornaliero in 5 casi pilota.

L'andamento dei consumi medi giornalieri per ciascun appartamento pilota risulta indicativo per la caratterizzazione della tipologia di utenza. Infatti, attraverso un confronto effettuato all'interno del campione, dal grafico in Figura 17, si nota che, durante tutta la settimana, i consumi dell'appartamento pilota n.5 siano inferiori a quelli degli altri casi di studio, mentre l'edificio pilota n.2 sembra essere quello più energivoro. Inoltre, negli edifici pilota n.2 e n.4 si riscontra un consumo energetico maggiore nel fine settimana; nell'edificio pilota n.5, invece, nel fine settimana, il consumo diminuisce.

A questa caratterizzazione in termini di uso assoluto di energia elettrica, deve essere, quindi, apportata una prima normalizzazione rispetto al numero di utenti presenti in abitazione.

Considerando il numero di persone residenti nei diversi appartamenti pilota, il grafico in Figura 18

Consumo medio giornaliero pro capite in 5 casi pilota.

rappresenta il consumo di energia per persona. Da questo esame emerge che l'edificio pilota n.3 risulta il più energivoro (una sola persona residente); al contrario, l'edificio pilota n.5, in cui vi abitano due utenti, risulta avere un consumo pro capite minore rispetto gli altri casi di studio. A valle di queste due caratterizzazioni, si possono notare anche altri comportamenti: l'edificio pilota n.1 (3 utenti) ha un

comportamento pressoché invariato durante tutta la settimana, mentre l'edificio pilota n.4 (3 utenti) sembra assumere un comportamento decisamente più energivoro durante il weekend.

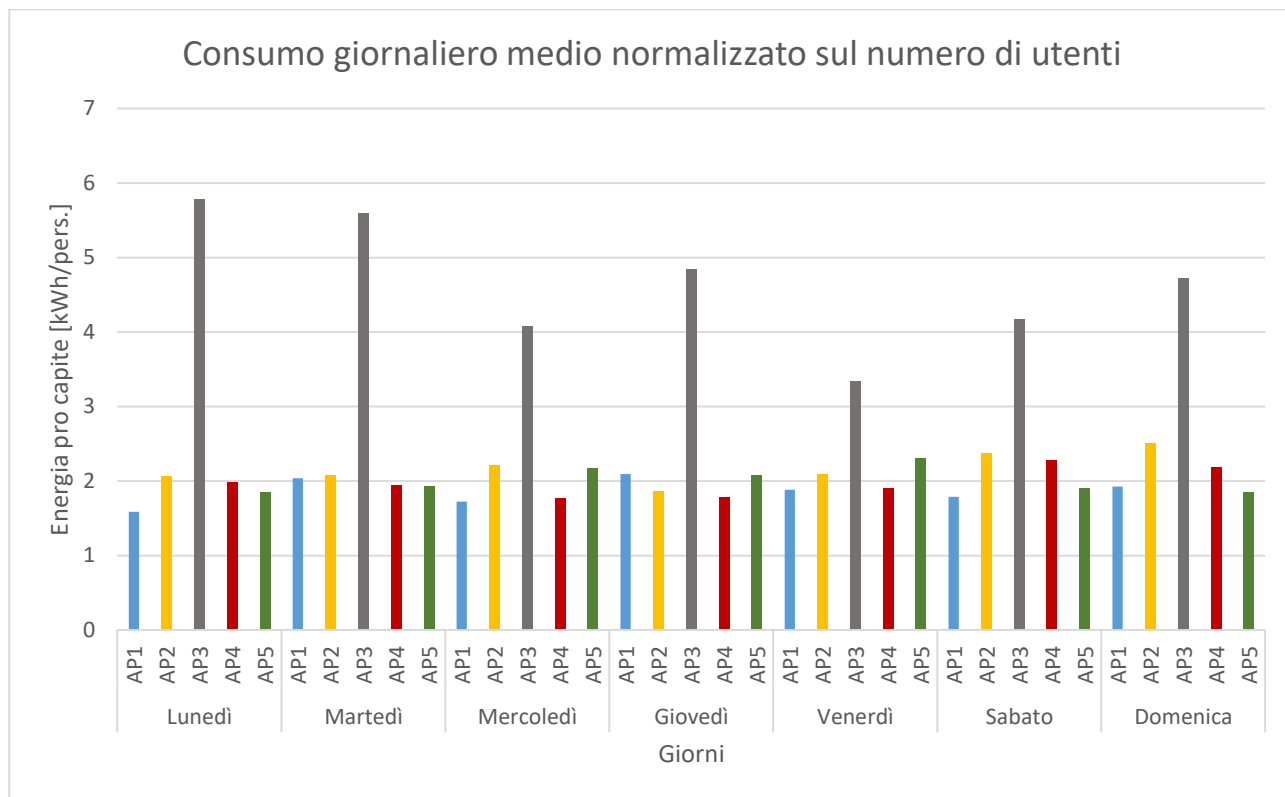


Figura 18. Consumo medio giornaliero pro capite in 5 casi pilota.

Una seconda normalizzazione del consumo è stata effettuata rispetto alla superficie utile di abitazione. In questo modo, vengono presi in considerazione eventuali scostamenti dovuti dimensioni differenti degli appartamenti.

Dal grafico in Figura 19 risulta che, in questo caso, l'appartamento dell'edificio pilota n.1 risulta quello più energivoro: la superficie dell'appartamento è circa la metà dei restanti 4 casi di studio ma il numero di apparecchiature installate risulta essere analoga a quella degli appartamenti più grandi. Il caso studio n.5 risulta anche in questo caso essere quello con consumi minori.

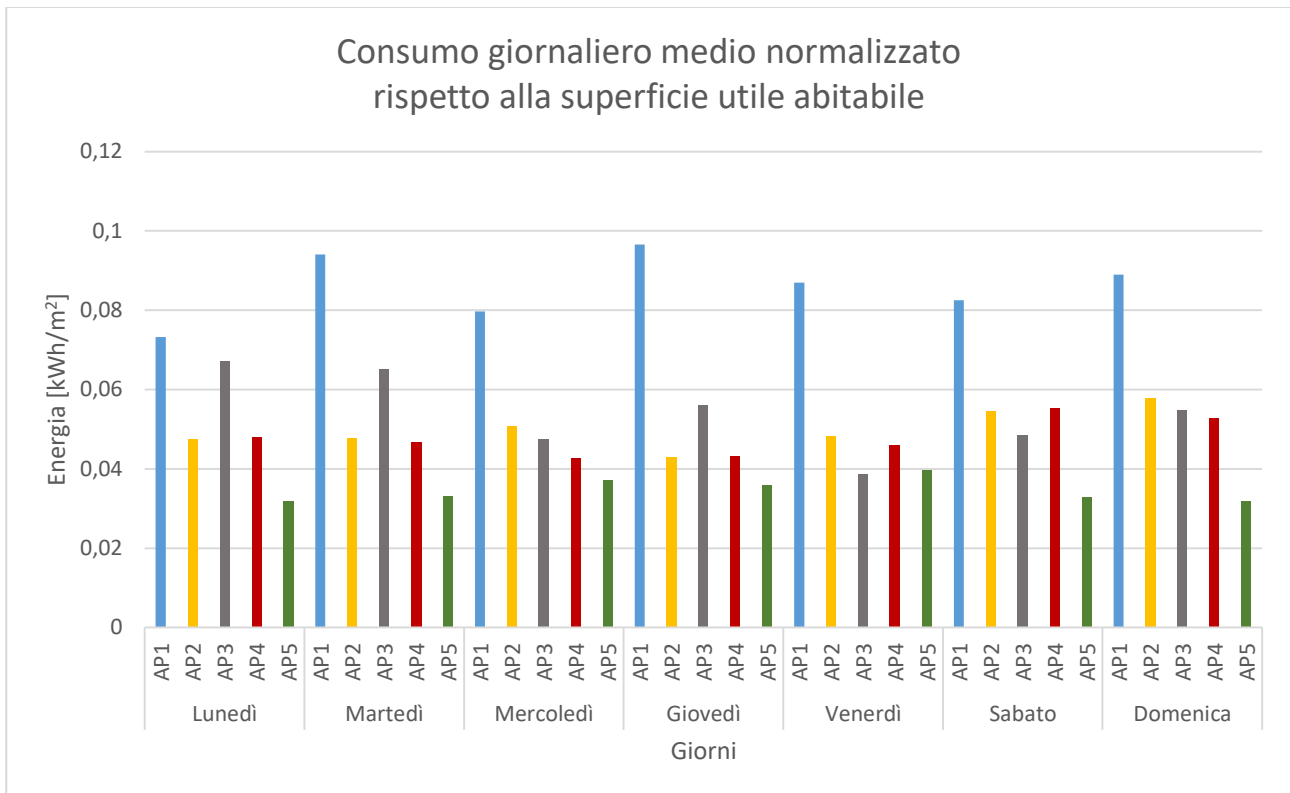


Figura 19. Consumo medio giornaliero per m² di abitazione in 5 casi pilota.

Il grafico in Figura 20 mostra la proiezione annuale dei consumi di energia elettrica dei diversi appartamenti pilota. La comparazione viene effettuata considerando la media dei consumi di tutti e cinque i casi pilota e esaminando l'eventuale scostamento. In particolare, gli appartamenti pilota n.3 e n.5 dimostrano essere i casi di studio con il comportamento più virtuoso rispetto all'uso dell'energia elettrica.

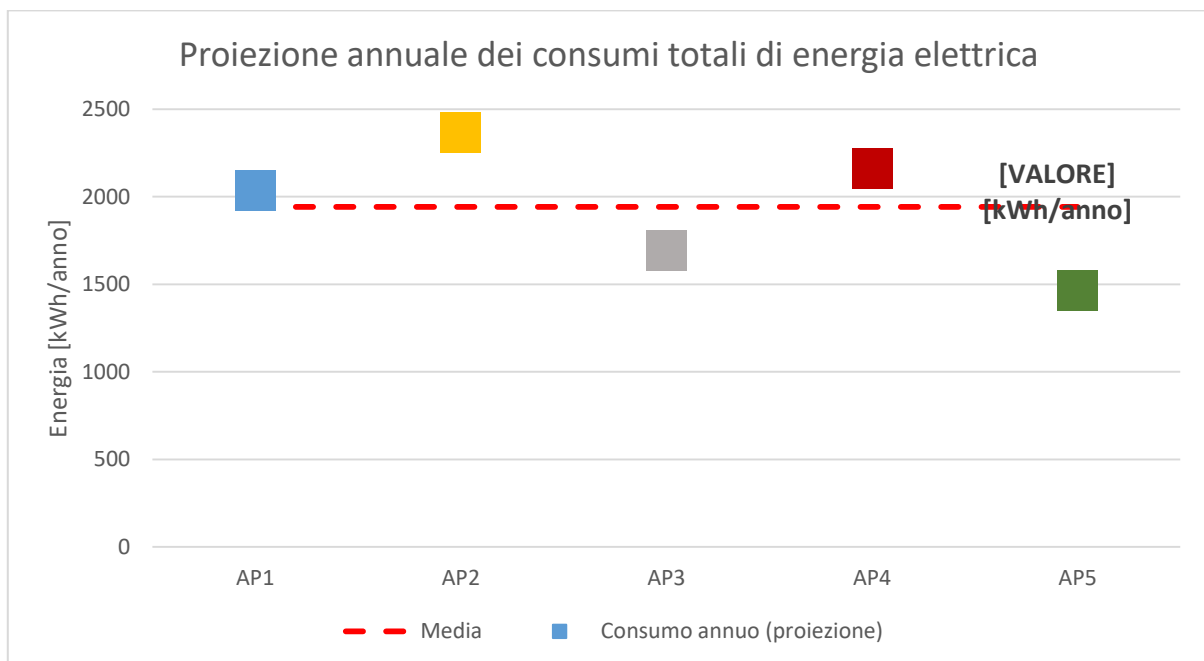


Figura 20. Consumo medio annuale nei 5 casi pilota.

2.1.3 Caratterizzazione dei profili di carico

I dati collezionati per gli edifici oggetto di studio sono stati analizzati per ricavare profili di carico elettrico tipologici relativi al consumo totale e ai singoli elettrodomestici.

Ciascun edificio pilota è stato analizzato secondo i profili di consumo elettrico nel tempo, identificando profilo medio giornaliero in una settimana, nei soli giorni feriali e nel fine settimana per tutto il periodo di indagine.

Appartamento pilota n.1

La prima analisi dei profili di carico viene effettuata con i dati di utilizzo della potenza elettrica generale dell'appartamento rilevata al contatore. In figura 21 viene riportato l'andamento della potenza media oraria relativa ai soli giorni feriali (linea rossa), ai soli fine settimana (linea verde) e a tutto il periodo monitorato (linea blu) per l'edificio pilota numero 1.

Il profilo orario di potenza elettrica assorbita durante i sabati e domeniche denota una maggiore attività durante le ore del mattino con uno spostamento di 2 ore rispetto a quello dei giorni feriali.

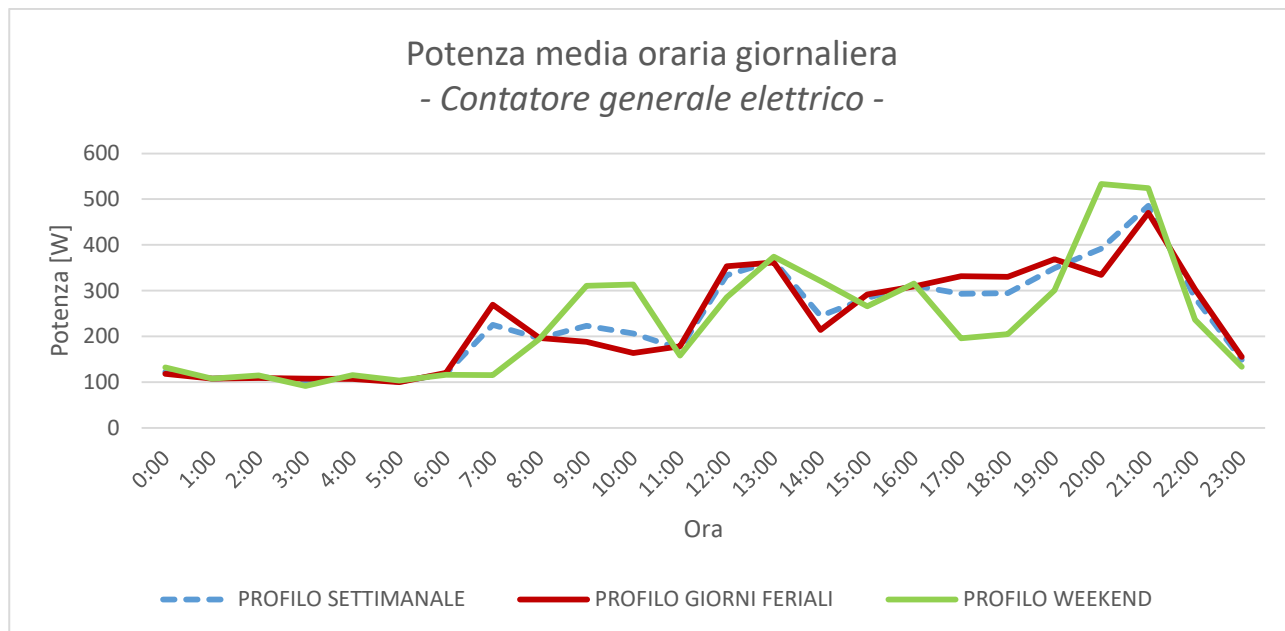


Figura 21. Profilo di utilizzo della potenza elettrica richiesta dall'appartamento pilota n.1.

L'analisi dei profili di carico delle apparecchiature è stata poi effettuata su tutti i dispositivi monitorati, come riportato nelle figure 22, 23, 24, 25, 26.

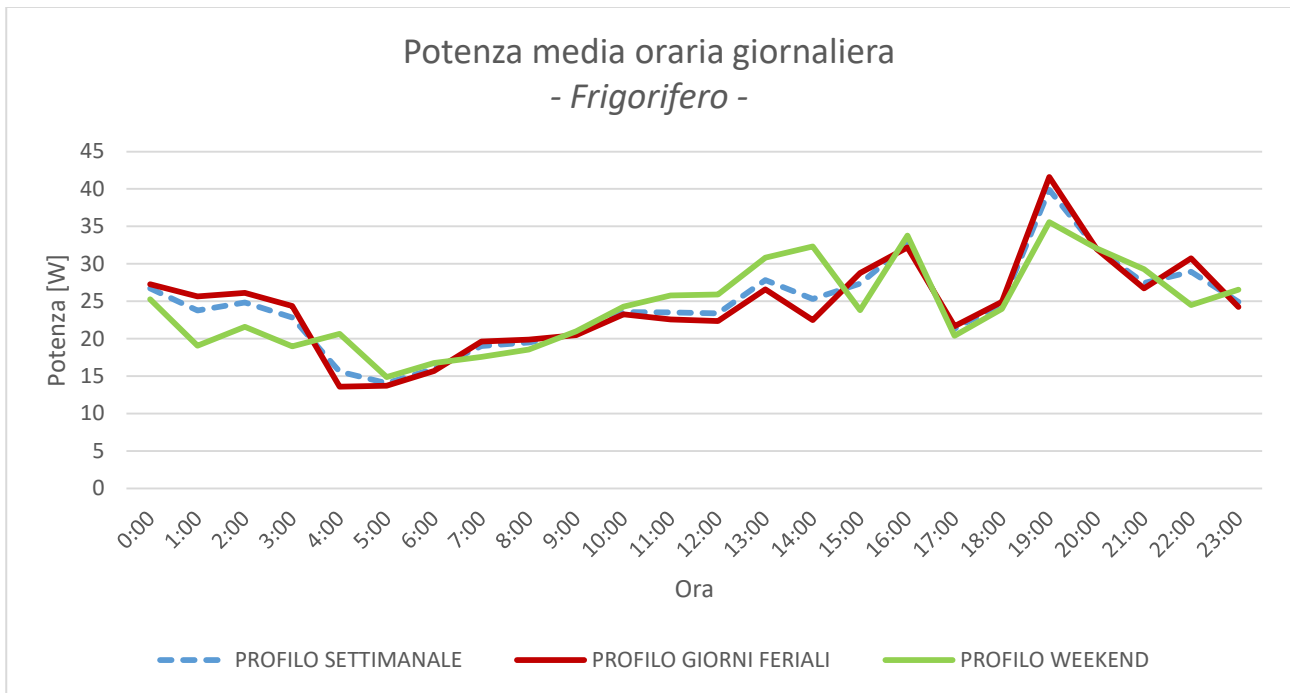


Figura 22. Profilo di utilizzo del frigorifero.

I profili di carico del frigorifero e del microonde (grafici in Figura 22 e 23) delineano un andamento compatibile con l'uso quotidiano relativo ai pasti principali. In particolare, il frigorifero (Figura 22) mostra un aumento della potenza richiesta nelle ore serali (tra le 18:00 e le 20:00) mentre il microonde (Figura 23) anche nelle ore diurne, sebbene diverse tra giorni feriali (linea rossa) (ore 15:00) e festivi (linea verde), dove si nota un deciso picco alle ore 13:00, probabilmente in corrispondenza del pranzo in famiglia.

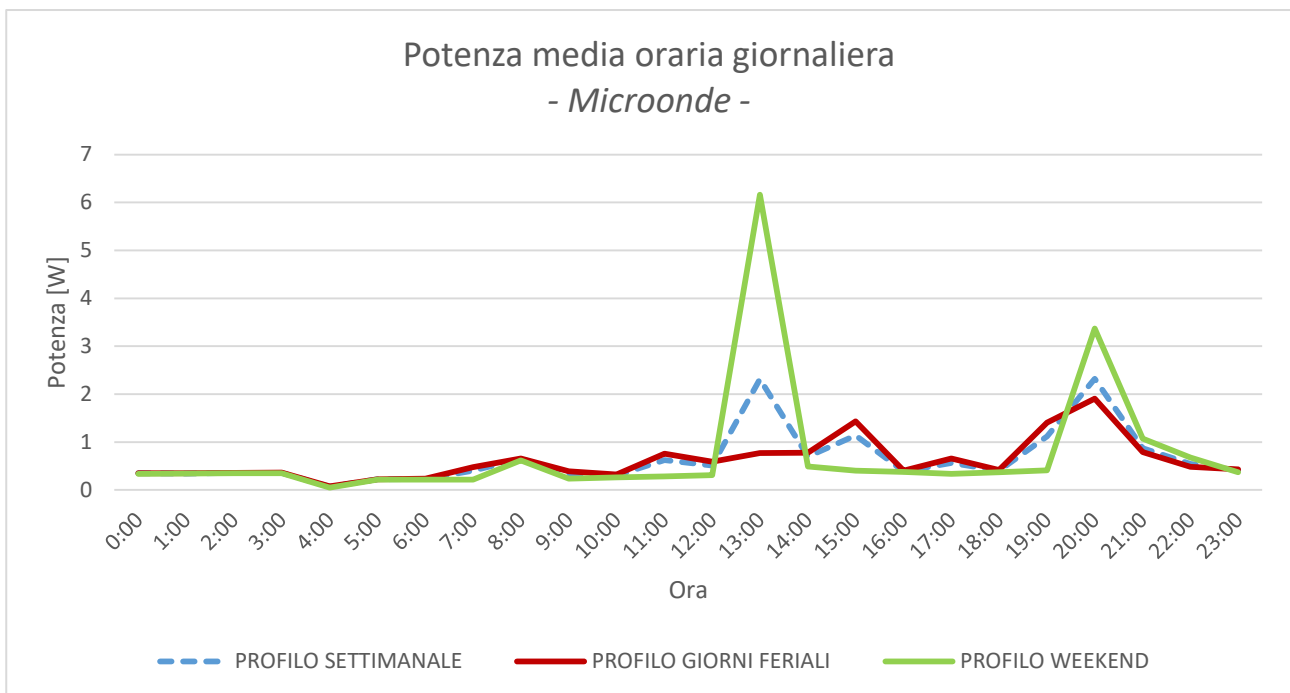


Figura 23. Profilo di utilizzo del microonde.

In Figura 24 si riporta l'andamento della potenza elettrica assorbita per il funzionamento della lavatrice. In questo caso, si nota un maggiore utilizzo del dispositivo durante il weekend (linea verde), risultante in picchi di potenza concentrati tra le ore 12:00 e le ore 17:00. Durante i giorni feriali (linea rossa) invece si nota che l'utilizzo dell'apparecchio si concentra soprattutto nelle ore serali (tra le 18:00 e le 22:00), coerentemente a differenti abitudini legate alla settimana lavorativa.

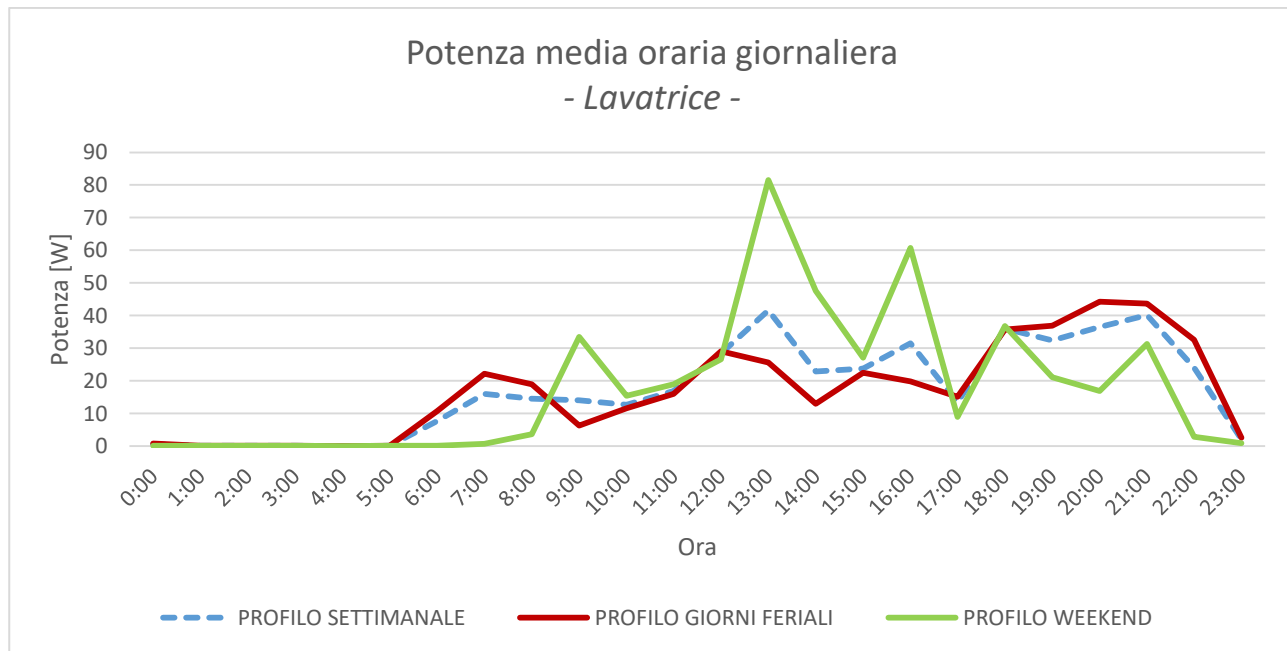


Figura 24. Profilo di utilizzo della lavatrice.

I grafici in Figura 25 e 26 mostrano il diverso utilizzo delle lampade in camera da letto e in soggiorno: la lampada alogena nei giorni feriali (linea rossa in Figura 25) viene accesa moderatamente al mattino per poi avere un utilizzo maggiore intorno dalle ore 21 alle ore 23. Lo stesso pattern d'utilizzo si ha anche nel fine settimana (linea verde), dove però l'accensione mattutina viene traslata di due ore e l'utilizzo serale mostra un picco più deciso alle ore 21. La lampada posta in soggiorno (Figura 26) invece ha un utilizzo esclusivamente serale (dalle ore 18:00 alle ore 22:00), senza significative differenze tra giorni feriali e festivi.

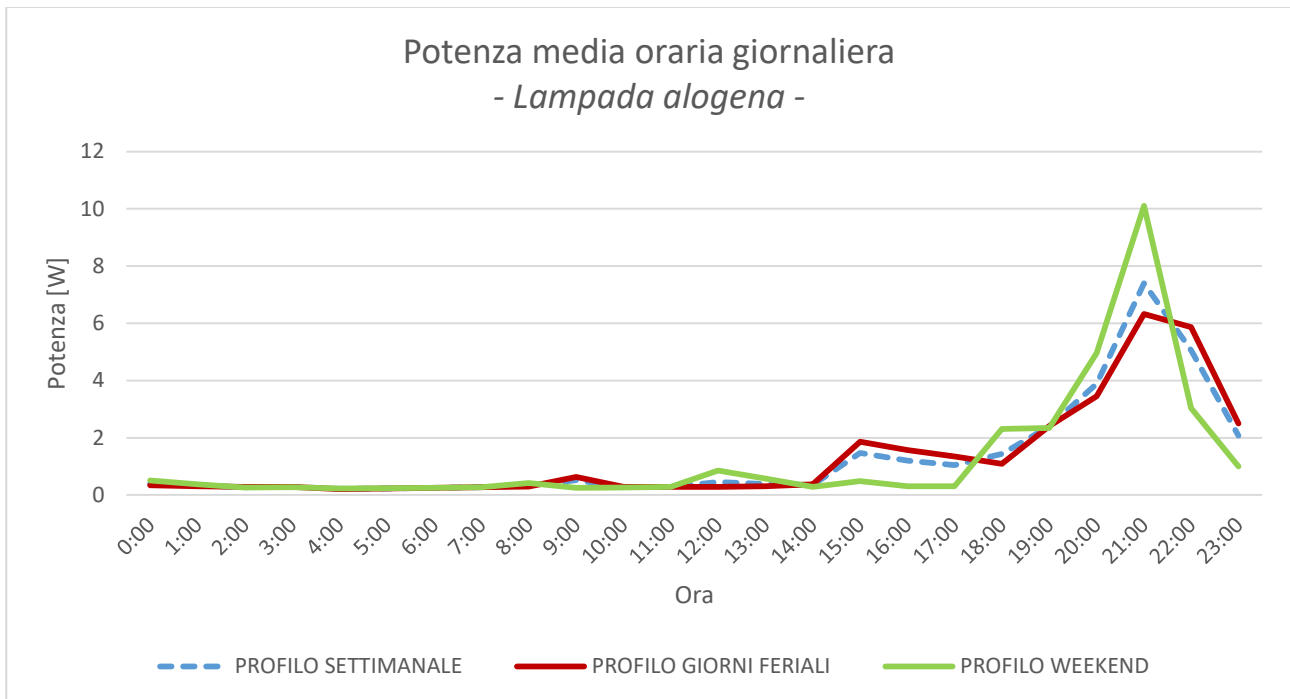


Figura 25. Profilo di utilizzo della lampada alogena in camera da letto.

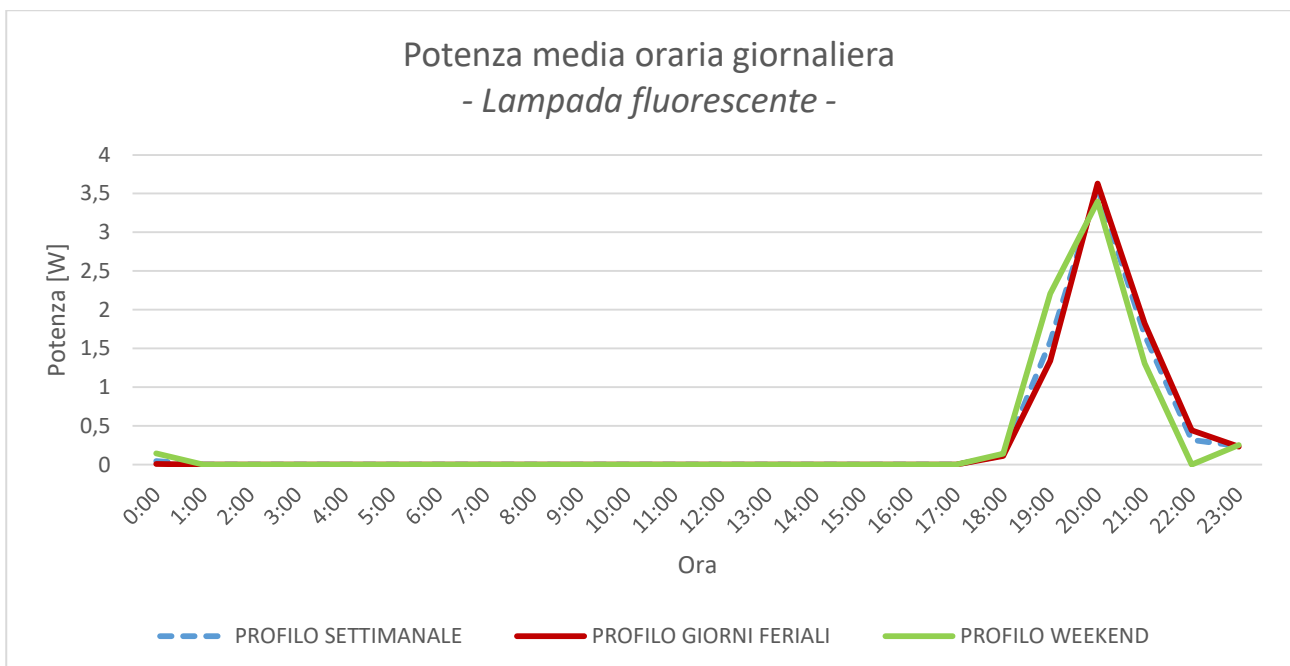


Figura 26. Profilo di utilizzo della lampada fluorescente in soggiorno.

Appartamento pilota n.2

L'analisi dei profili di carico viene eseguita inizialmente per la potenza elettrica generale dell'appartamento rilevata al contatore. In figura 27 viene riportato l'andamento della potenza media oraria relativa ai soli giorni feriali (linea rossa), ai soli fine settimana (linea verde) e a tutto il periodo monitorato (linea blu) per l'edificio pilota numero 2. Il grafico mostra un diverso assorbimento di potenza nelle ore diurne dei giorni feriali e festivi, mostrando nel fine settimana due picchi di potenza, uno al mattino (ore 10:00) e uno nel primo pomeriggio (ore 15:00). Nelle ore serali invece la potenza risulta avere un assorbimento maggiore tra le 19:00 e le 22:00 sia nei giorni feriali sia nei giorni festivi.

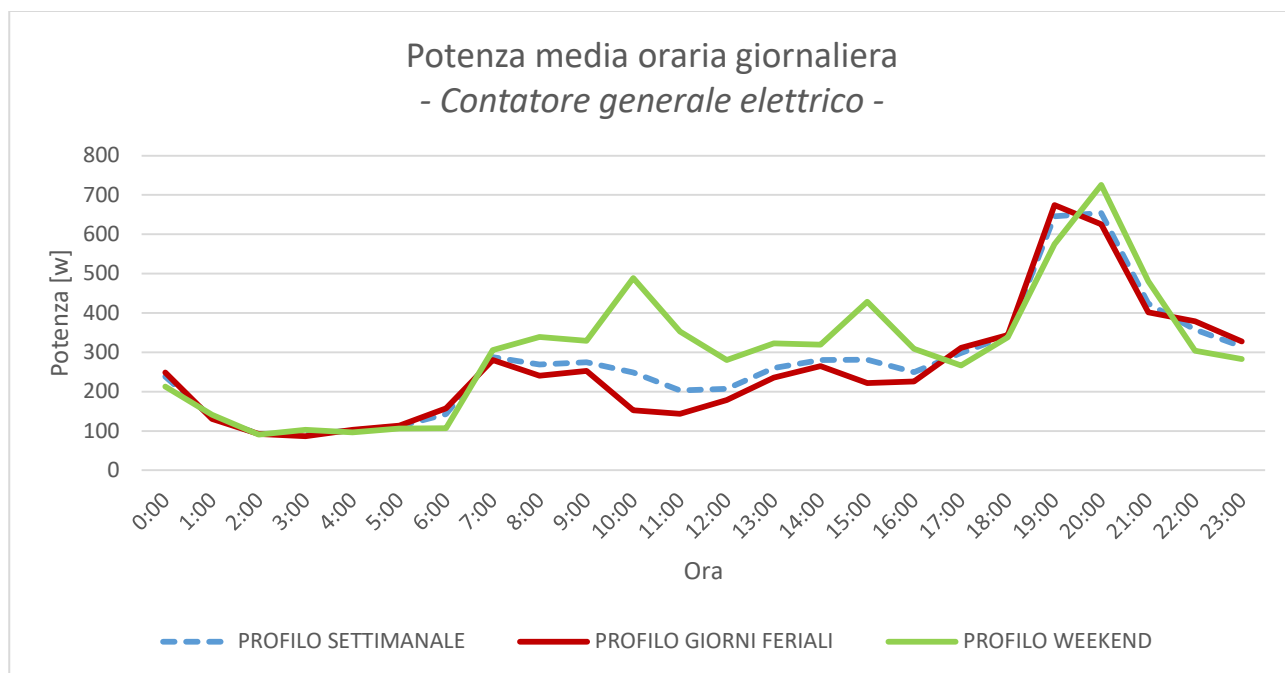


Figura 27. Profilo di utilizzo della potenza elettrica richiesta dall'appartamento pilota n.2

I grafici in Figura 28 e 29 mostrano i profili di carico dei dispositivi elettrici monitorati all'interno dell'appartamento pilota n.2. In particolare, il grafico relativo al profilo di carico del forno (Figura 28) mostra un utilizzo dell'apparecchio quasi esclusivamente nelle ore serali, senza distinzioni tra giorni feriali (linea rossa) e festivi (linea verde). Dal grafico relativo al profilo di carico del televisore (Figura 29) emerge che la potenza richiesta per l'accensione del dispositivo avviene in tre momenti principali della giornata: al mattino, nelle ore centrali della giornata (compatibilmente con il pranzo) e alla sera (compatibilmente con la cena). Dal grafico si nota solo un minimo spostamento della potenza richiesta per il televisore al mattino del fine settimana (linea verde).

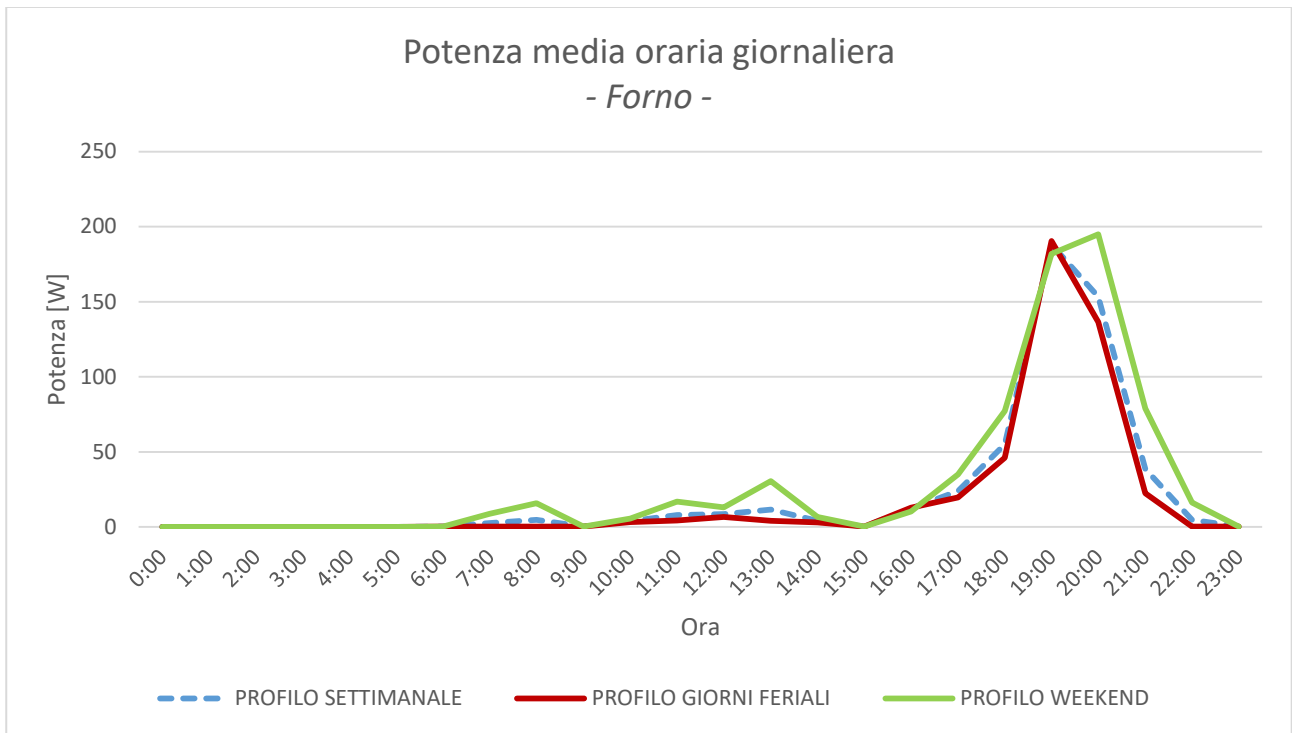


Figura 28. Profilo di utilizzo del forno.

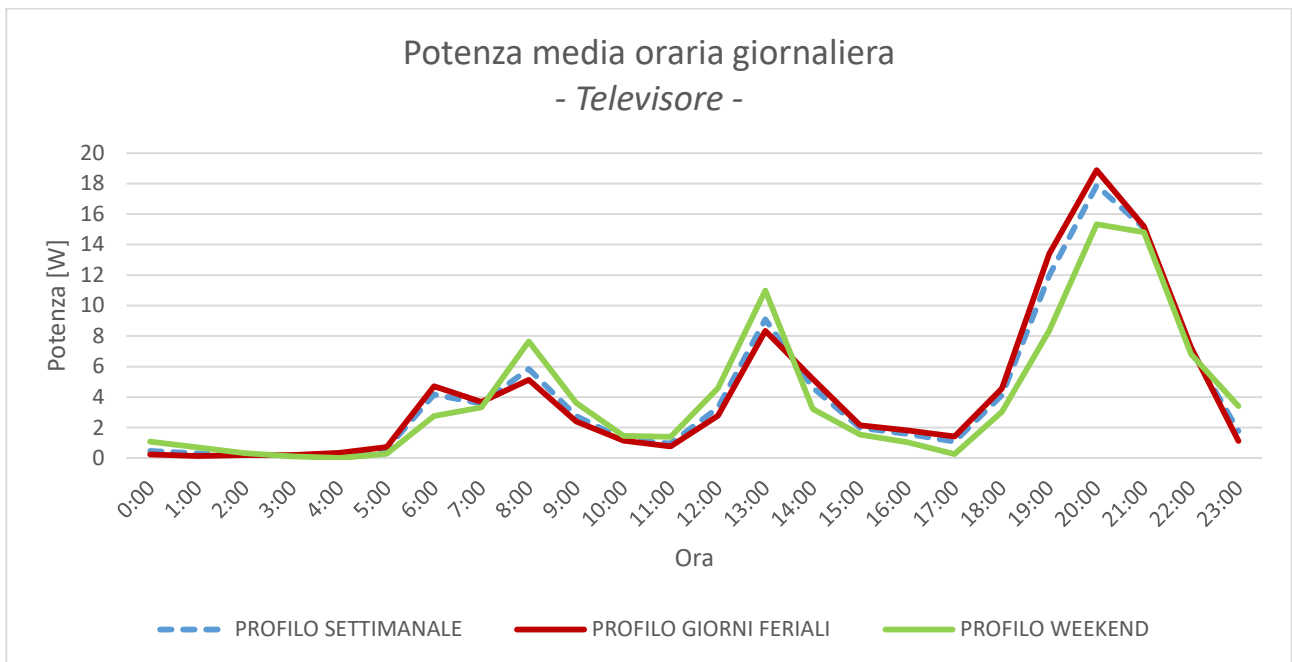


Figura 29. Profilo di utilizzo del televisore.

Appartamento pilota n.3

L'appartamento pilota n.3 risulta il primo caso di studio con la presenza di un impianto fotovoltaico, la cui produzione è interamente ceduta alla rete. La potenza elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico installato viene rappresentata in Figura 30, che mostra un andamento invariato tra i giorni feriali e il fine settimana, dal momento che la produzione di potenza elettrica non viene influenzata dalla diversa richiesta degli utenti.

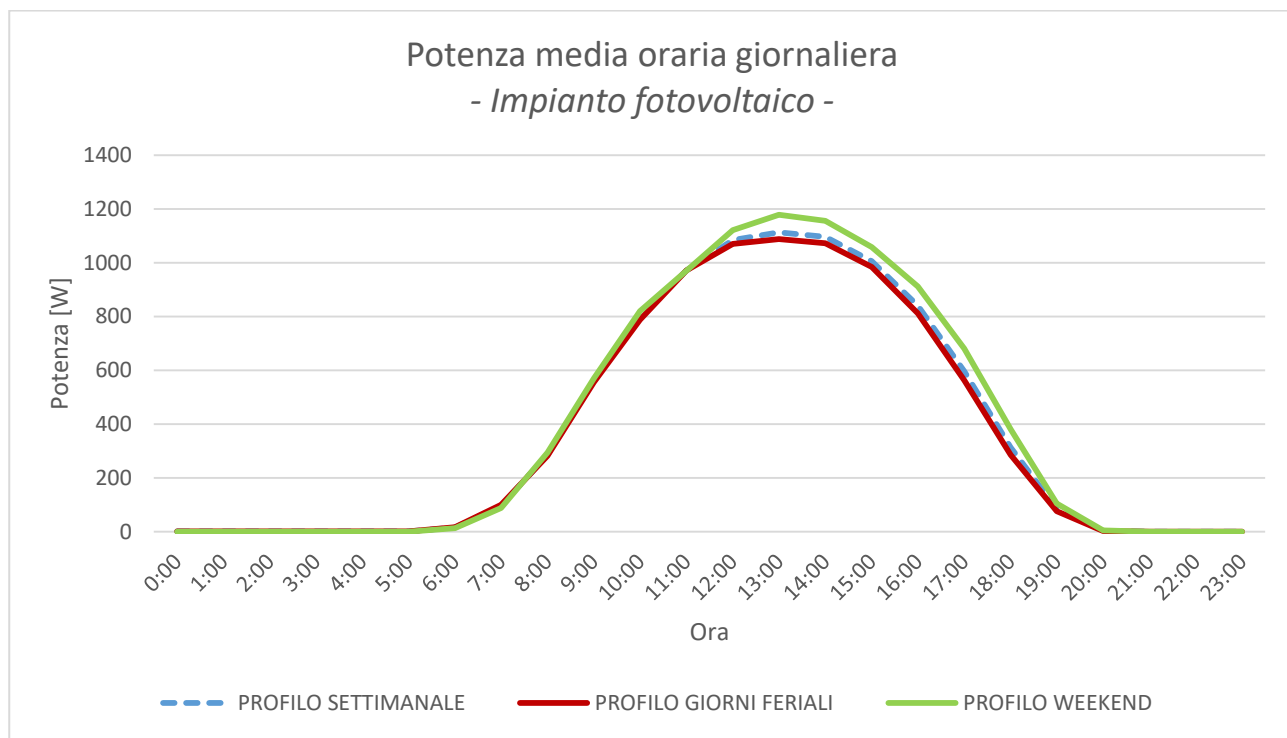


Figura 30. Profilo orario della potenza elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico.

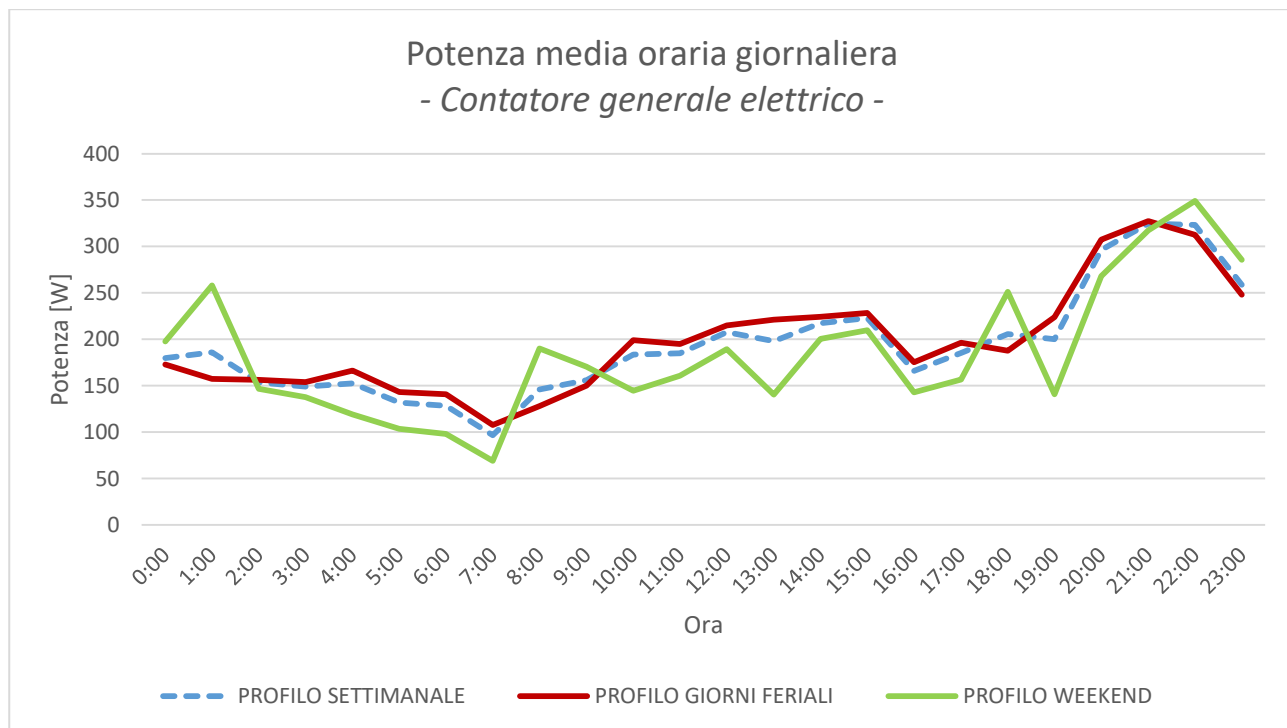


Figura 31. Profilo di utilizzo della potenza elettrica richiesta dall'appartamento pilota n.3.

Il profilo settimanale della richiesta di potenza elettrica dell'appartamento n.3 rappresentato in Figura 31 mostra un andamento differente tra i giorni feriali (linea rossa) e festivi (linea verde). In particolare, durante il fine settimana l'andamento della potenza segue diversi picchi sparsi durante la tutta la giornata festiva, mentre il profilo di carico relativo ai giorni infrasettimanali risulta essere più omogeneo durante la giornata.

Nelle Figure 32, 33, 34, 35, 36 viene rappresentata la potenza assorbita dai diversi dispositivi monitorati nell'appartamento pilota n.3.

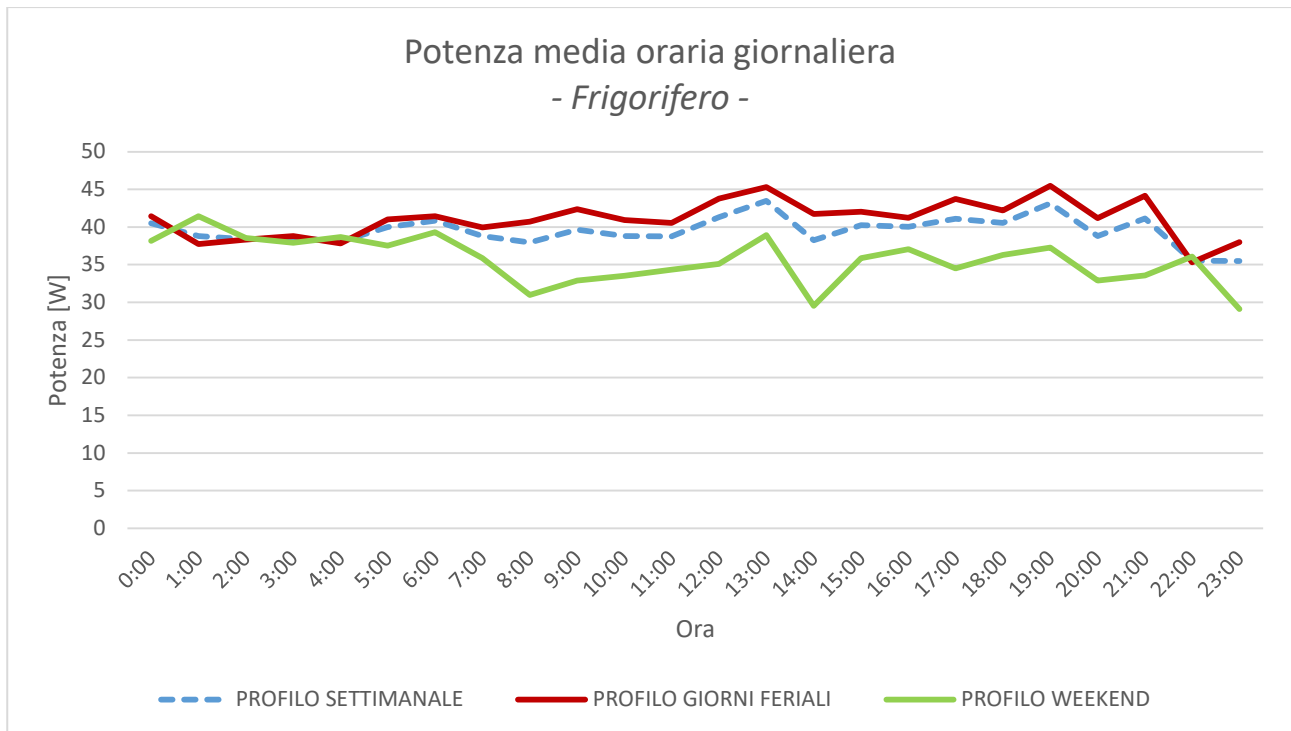


Figura 32. Profilo di utilizzo del frigorifero.

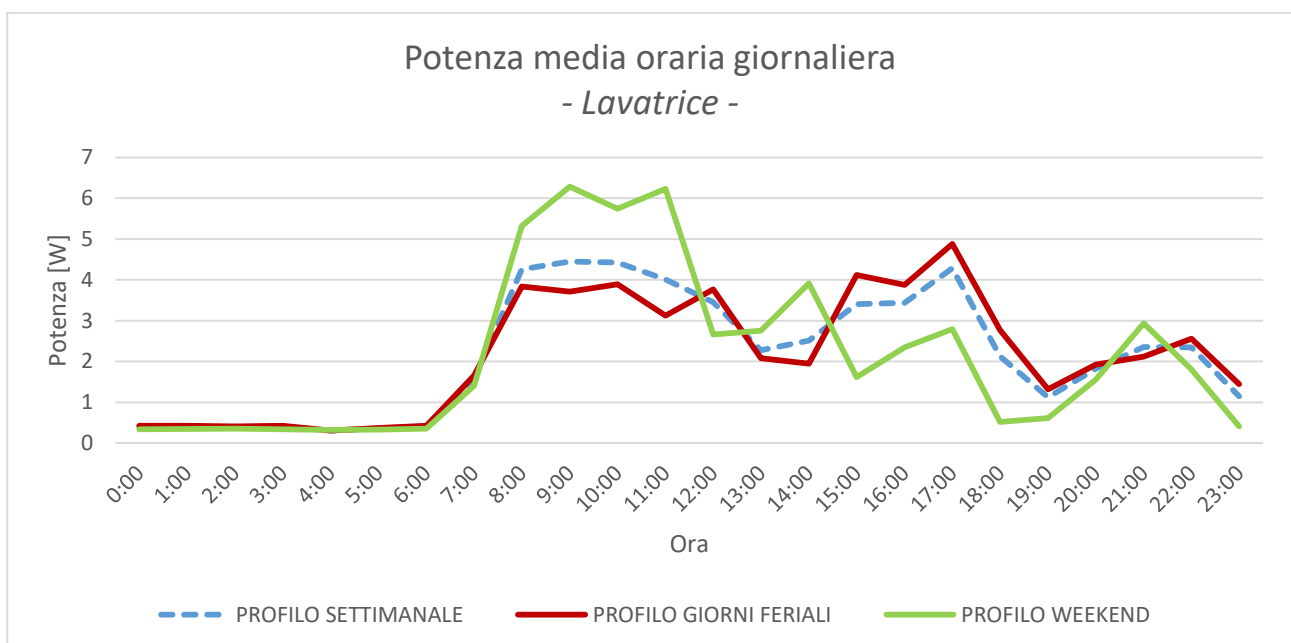


Figura 33. Profilo di utilizzo della lavatrice.

La potenza richiesta per l'utilizzo della lavatrice viene rappresentata in Figura 33. Il grafico mostra valori di potenza molto bassi, testimoniando un limitato utilizzo di tale apparecchio. I picchi di potenza risultano essere in momenti diversi della giornata durante i giorni feriali (linea rossa) e festivi (linea verde). In particolare, durante il weekend sembra esserci una maggiore richiesta che porta ad avere un picco di potenza più deciso rispetto ai giorni feriali tra le ore 8:00 e le ore 12:00. Nei giorni feriali invece sembra che l'utilizzo della lavatrice sia limitato al mattino o al tardo pomeriggio.

Nelle Figure 35, 36, 37, vengono rappresentati i profili di carico dei tre televisori monitorati all'interno dell'appartamento pilota n.3. I tre televisori mostrano un utilizzo diverso all'interno della giornata.

Il televisore 1, posizionato nella sala, (Figura 34) viene utilizzato prevalentemente nel primo pomeriggio e nelle ore serali.

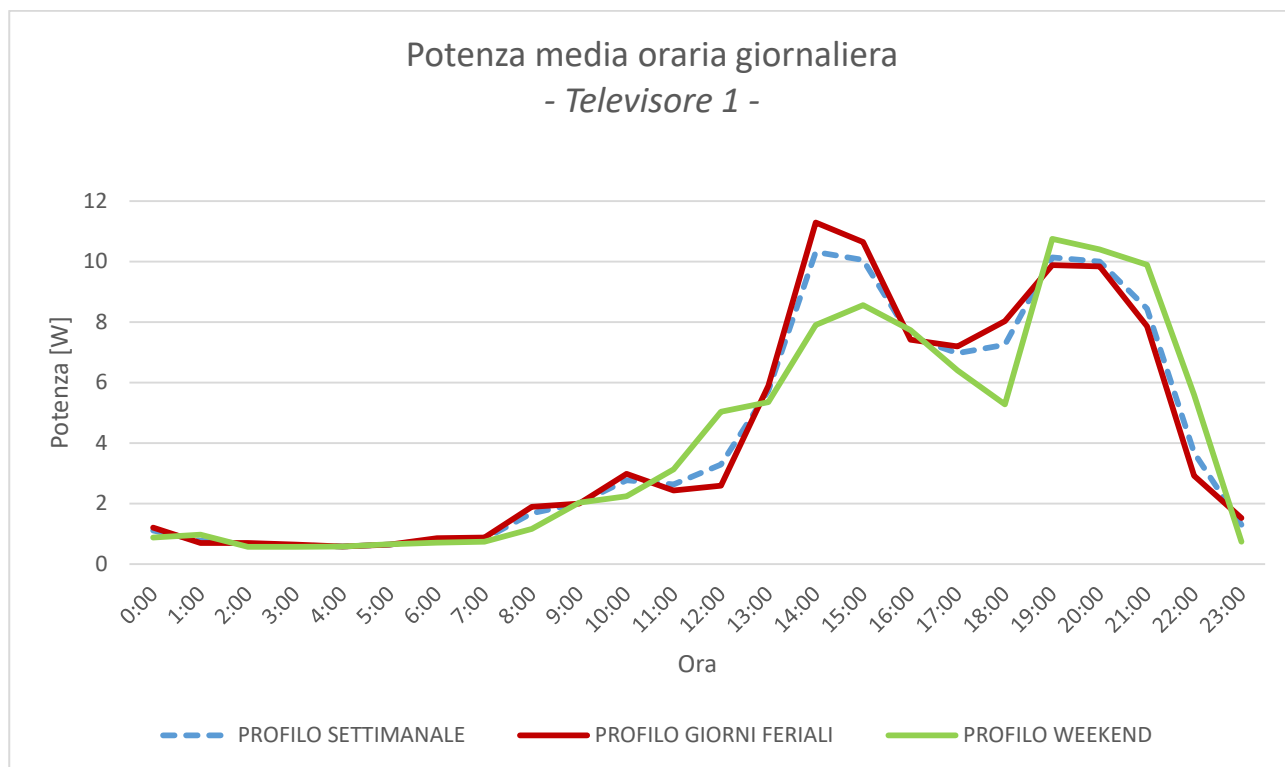


Figura 34. Profilo di utilizzo del televisore.

La potenza richiesta dal televisore 2, rappresentato in Figura 35, mostra invece un utilizzo in corrispondenza dei pasti principali della giornata: si hanno infatti dei picchi (più marcati per i giorni feriali) dalle ore 8:00 alle ore 10:00, dalle 12:00 alle 14:00 e dalle 19:00 alle 21:00. Tale andamento è compatibile con la posizione del televisore nella cucina dell'appartamento pilota n.3.

La potenza richiesta dal terzo televisore, situato nella camera da letto, viene rappresentata nel grafico in Figura 36. Anche in questo caso, il profilo mostrato in figura è compatibile con il suo posizionamento, evidenziando un uso esclusivamente serale, senza distinzioni tra giorni infrasettimanali e festivi.

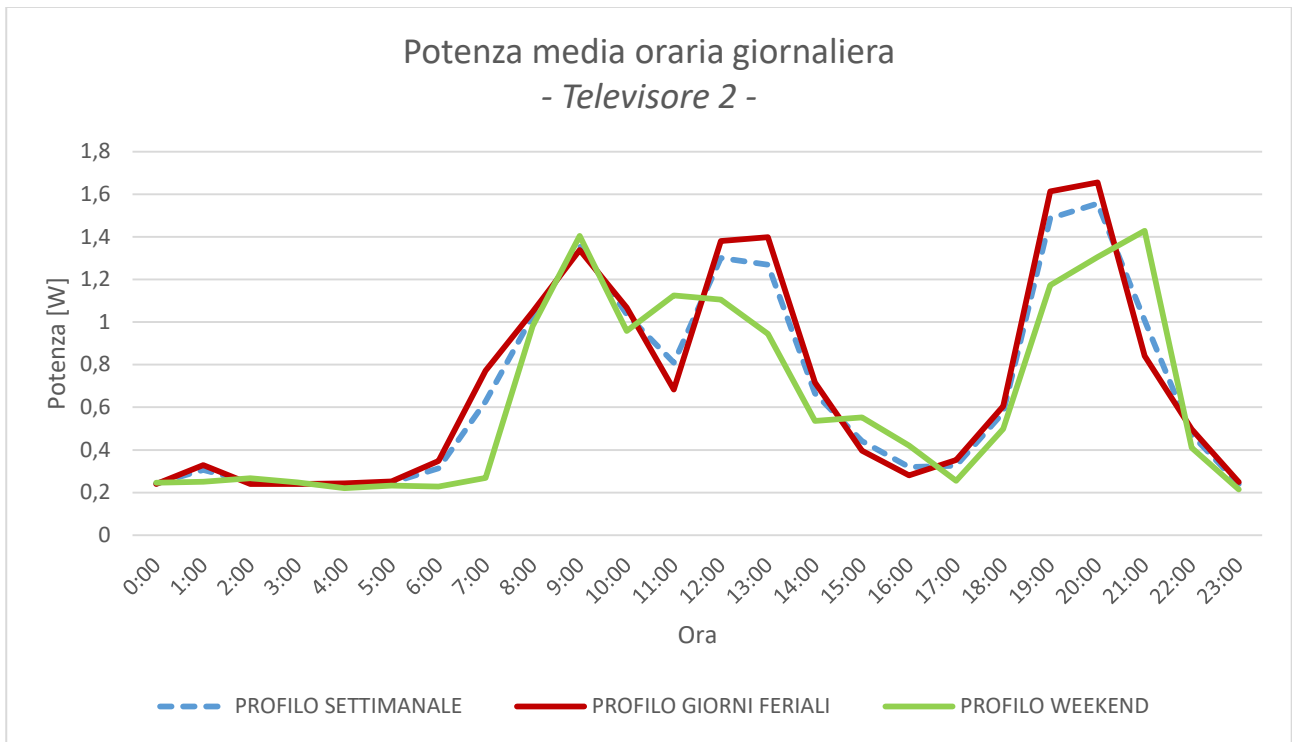


Figura 35. Profilo di utilizzo del televisore.

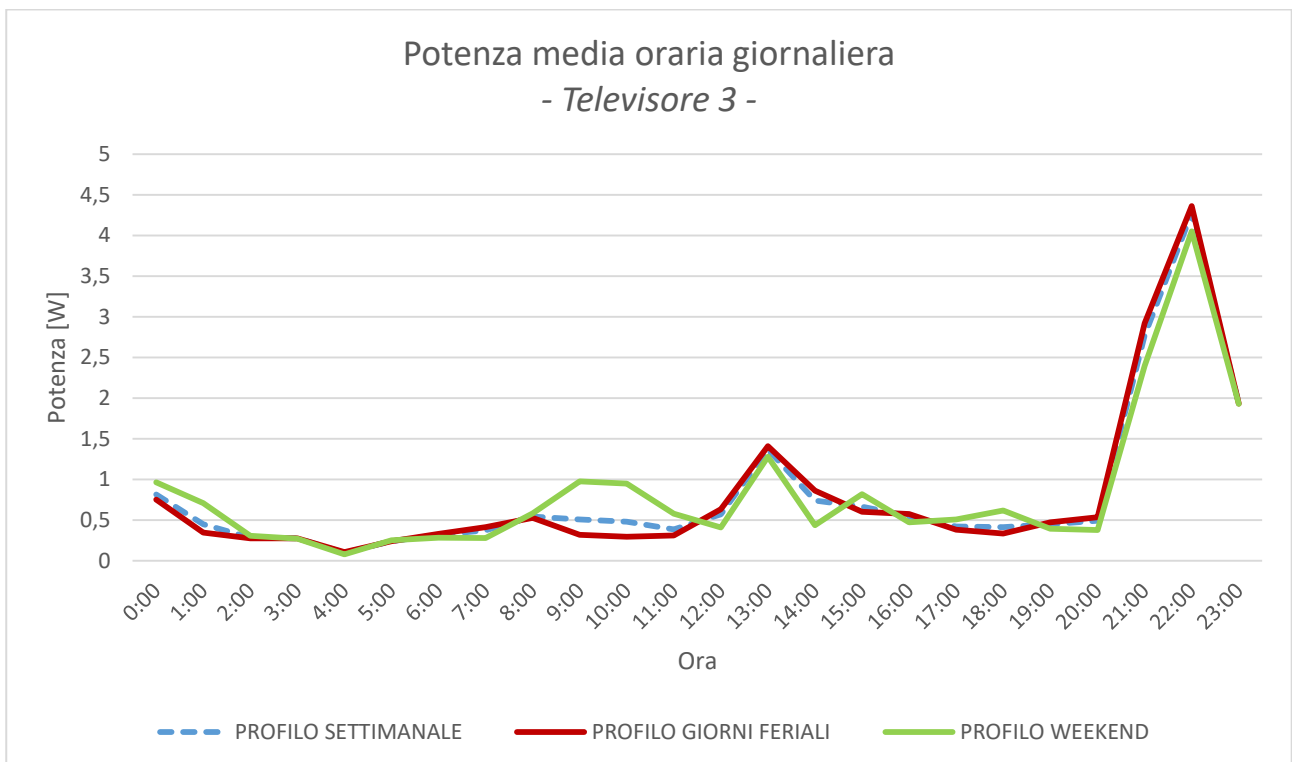


Figura 36. Profilo di utilizzo del televisore.

Appartamento pilota n.4

In figura 37 viene riportato l'andamento della potenza media oraria relativa ai soli giorni feriali (linea rossa), ai soli fine settimana (linea verde) e a tutto il periodo monitorato (linea blu) per l'appartamento pilota numero 4. Il grafico mostra un diverso andamento della potenza nei giorni feriali e nel fine settimana, denotando nel weekend una maggiore richiesta nelle ore del mattino. Rimane invece invariata la richiesta di energia elettrica nelle ore serali, dove sia durante la settimana sia nel fine settimana si nota un picco tra le ore 18:00 e le ore 23:00.

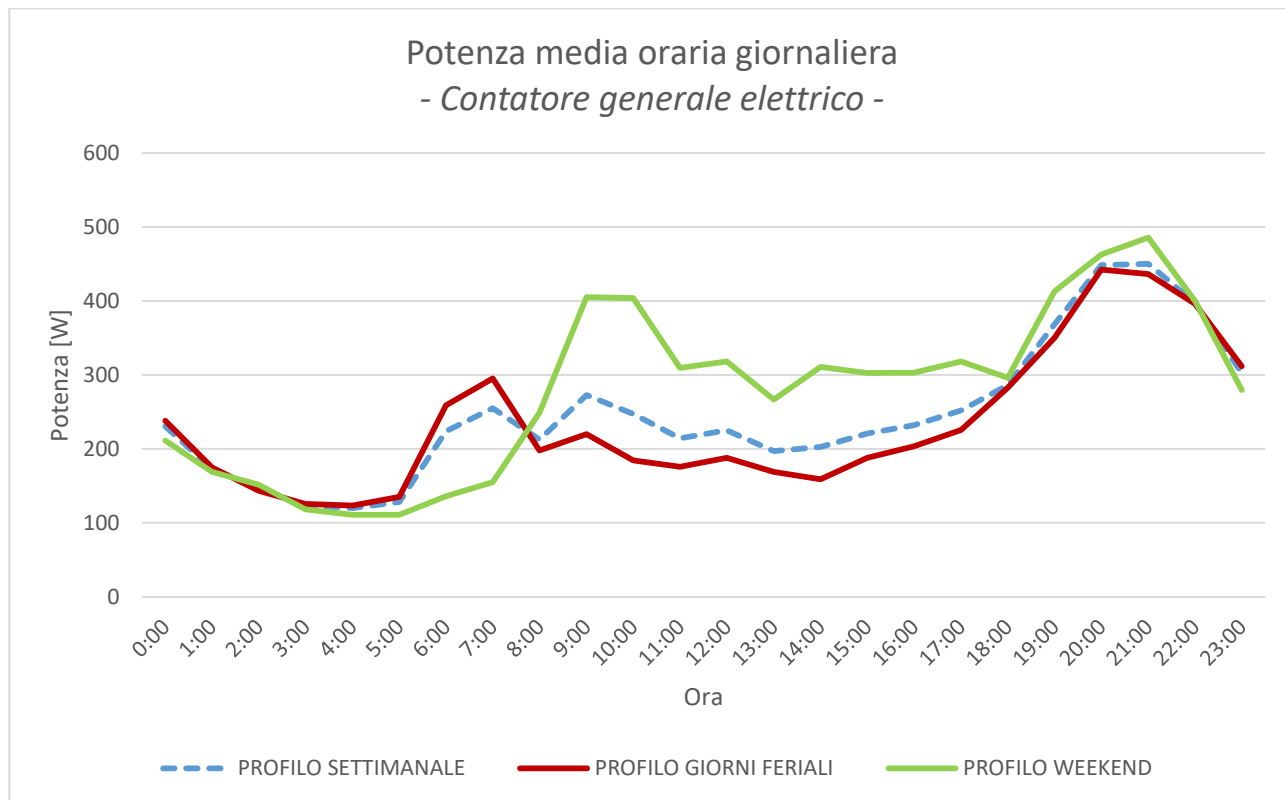


Figura 37. Profilo di utilizzo della potenza elettrica richiesta dall'appartamento pilota n.4.

Nelle Figure 38, 39, 40, 41, 42 vengono rappresentati i profili di potenza media oraria giornaliera per i dispositivi monitorati in appartamento (frigorifero, lavastoviglie, lavatrice e due termoventilatori).

In Figura 38 viene mostrato l'andamento in potenza del frigorifero durante i giorni lavorativi e festivi. Dal profilo non si distinguono sostanziali differenze tra le giornate feriali (linea rossa) e festive (linea verde). Si può notare solo un minimo spostamento del carico al mattino dei giorni festivi, dalle ore 6:00 alle ore 8:00, e un picco di potenza più marcato nelle ore serali (20:00).

Il profilo di carico della lavastoviglie, rappresentata in Figura 39, denota un maggiore utilizzo di questo dispositivo elettrico nel fine settimana (linea verde), dove sembrano esserci tre accensioni giornaliere, al mattino, nel primo pomeriggio e alla sera. Nei giorni infrasettimanali invece il profilo di carico (linea rossa) indica due principali accensioni nella giornata, al mattino e alla sera.

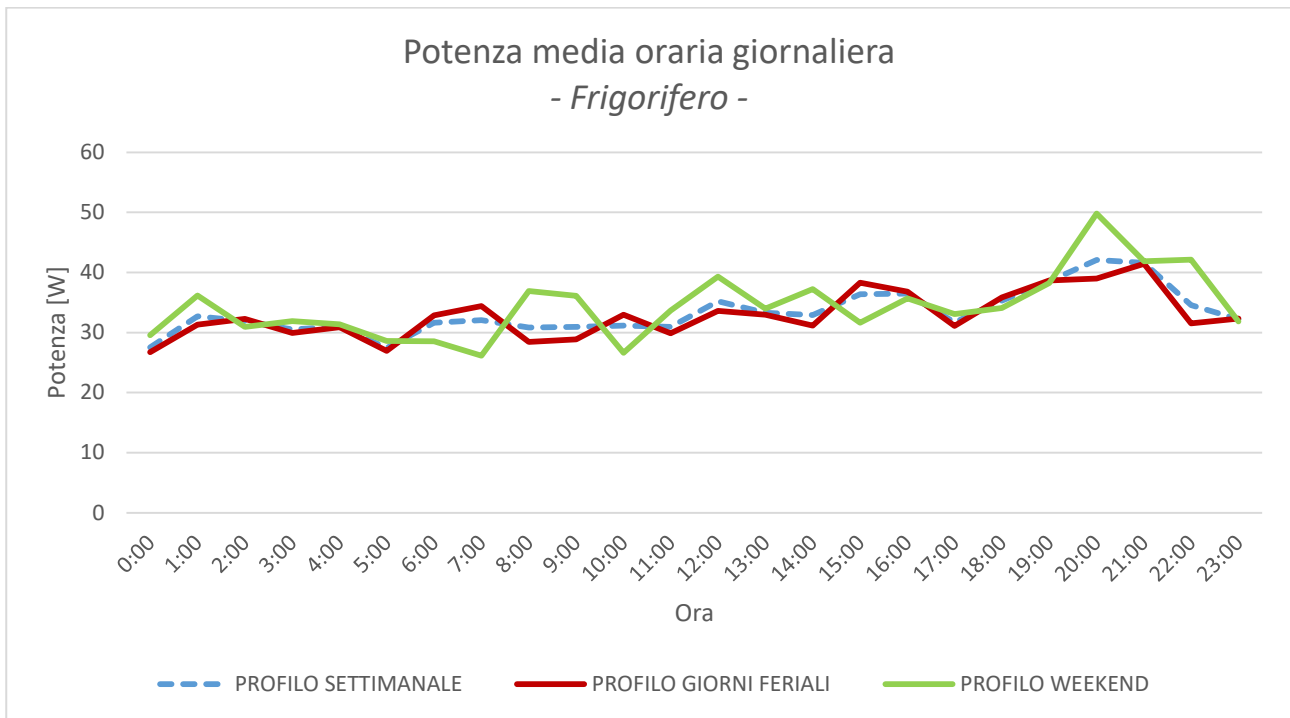


Figura 38. Profilo di utilizzo del frigorifero.

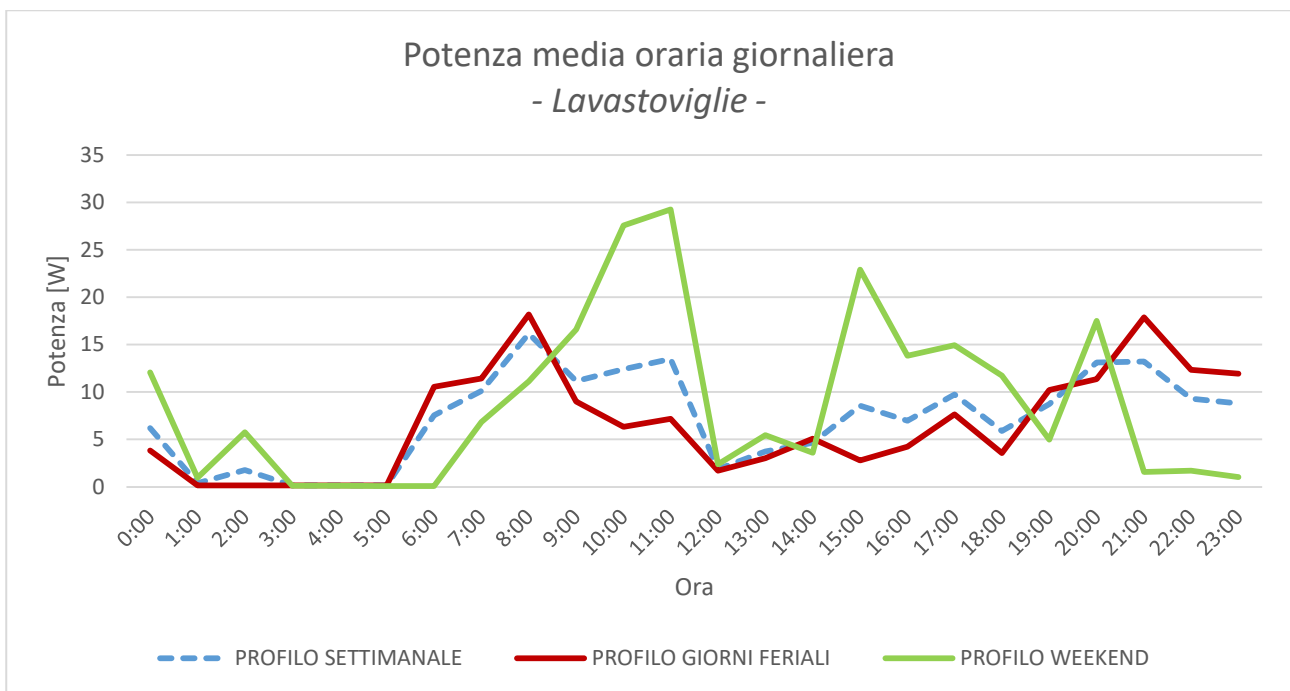


Figura 39. Profilo di utilizzo della lavastoviglie.

In Figura 40 viene raffigurato l'andamento in potenza dell'utilizzo della lavatrice. Il profilo di carico delinea una maggiore richiesta di energia elettrica durante il weekend (linea verde), dove si hanno sia valori di potenze maggiori sia picchi di potenza. Durante la settimana (lun-ven) il momento in cui viene assorbita maggiore potenza per l'uso della lavatrice sono le ore serali (dalle 17:00 alle 20:00).

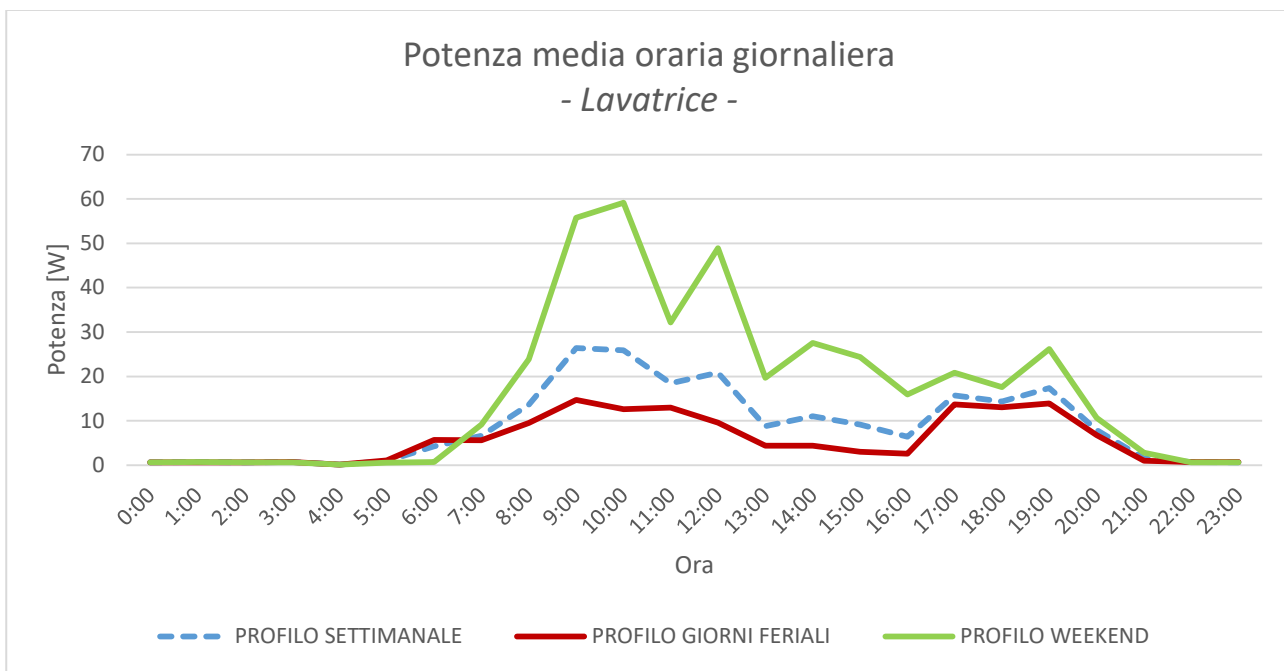


Figura 40. Profilo di utilizzo della lavatrice.

Nelle Figure 41 e 42 vengono riportati i profili di utilizzo dei due termoventilatori presenti nell'appartamento pilota n.4. Il loro utilizzo segue il momento del risveglio mattutino e il riposo serale e notturno. In particolare, il Termoventilatore 1 ha lo stesso picco nei giorni feriali e festivi alle ore 6:00 e alle ore 21:00. Presenta un ulteriore picco alle ore 18:00 durante il fine settimana. Il profilo del Termoventilatore 2 denota due picchi al mattino dei giorni feriali (ore 6:00 e ore 10:00) che viene sostituito da un picco unico con valori di potenza maggiori durante il weekend (linea verde). Rimane invariato il profilo di utilizzo nelle ore serali.

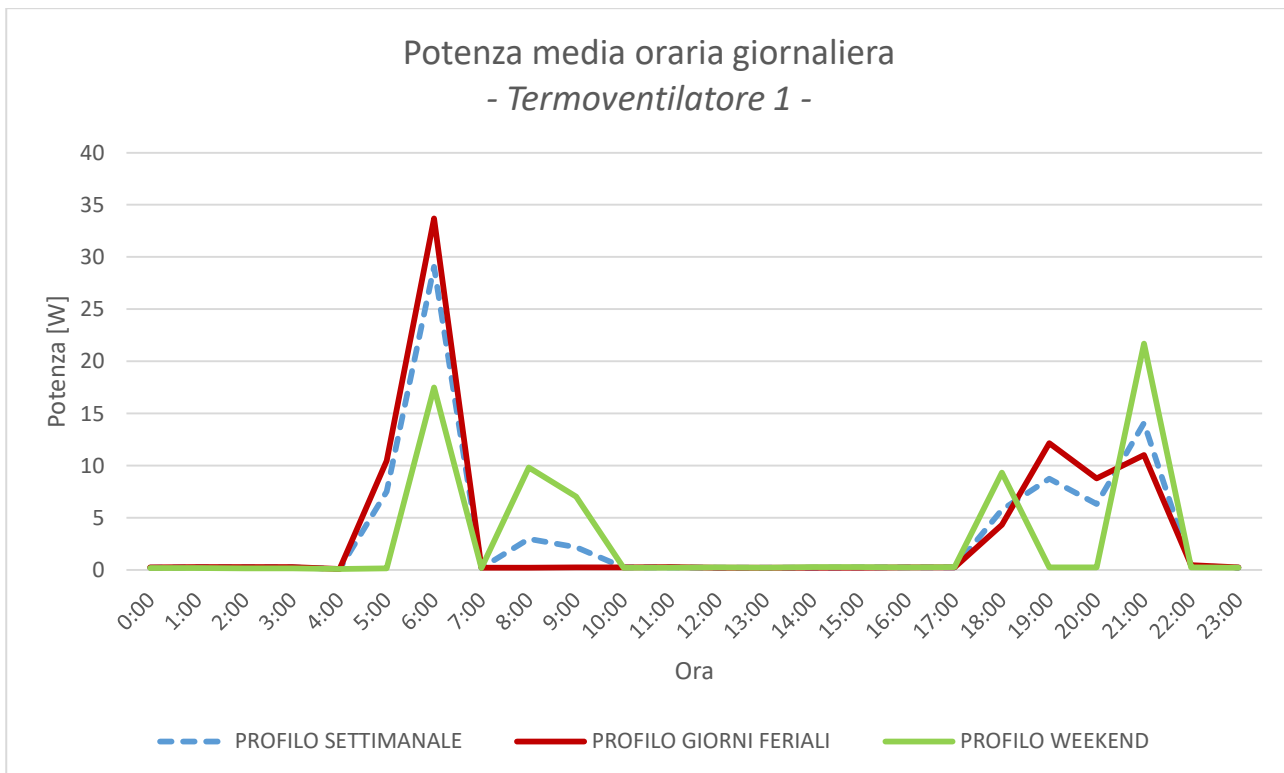


Figura 41. Profilo settimanale di utilizzo del termoventilatore.

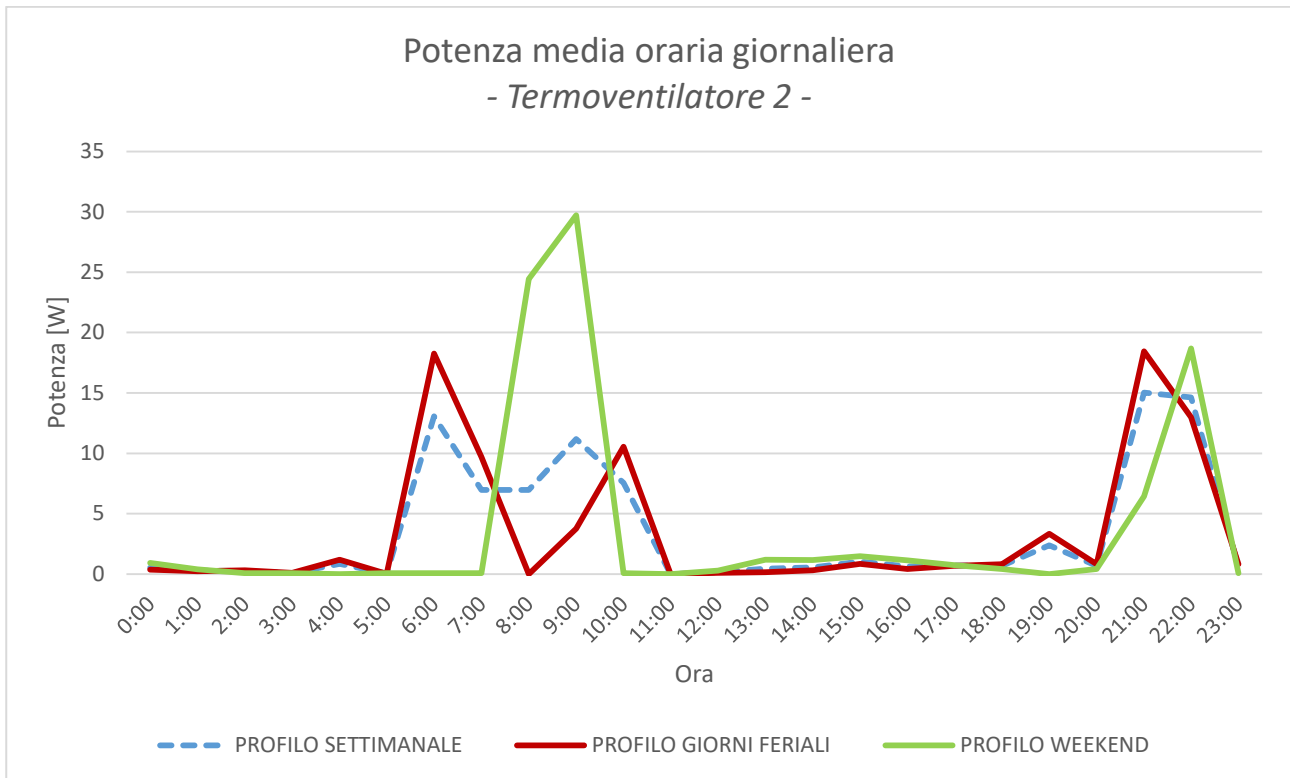


Figura 42. Profilo settimanale di utilizzo del termoventilatore.

Appartamento pilota n.5

In Figura 43 si riporta l'andamento della potenza media oraria richiesta al contatore suddivisa per giorni feriali (linea rossa), giorni festivi (linea verde) e mediati durante l'intera settimana (linea blu). Non si rilevano sostanziali differenze nel pattern di utilizzo dell'energia elettrica durante i giorni lavorativi e i fine settimana.

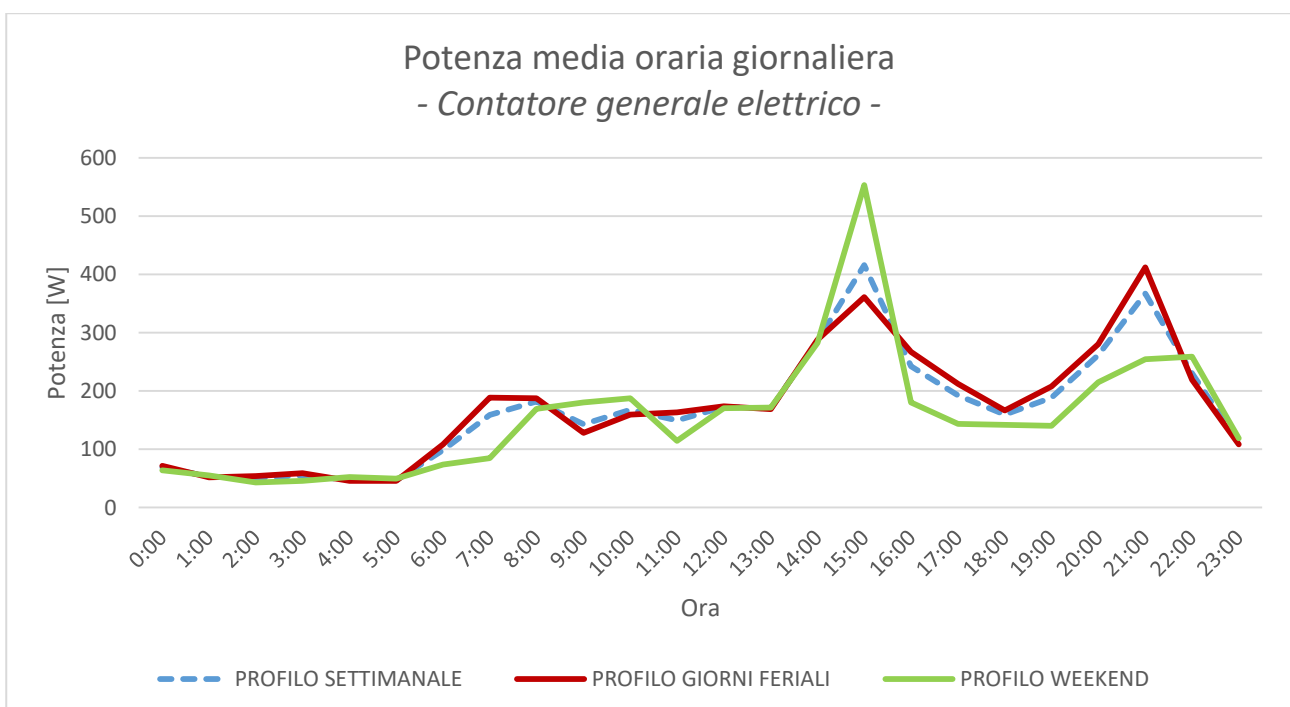


Figura 43. Profilo di utilizzo della potenza elettrica richiesta dall'appartamento pilota n.5

Nelle Figure 44, 45, 46, 47, 48 e 49 vengono riportati i profili di carico delle principali apparecchiature elettriche presenti in appartamento e monitorate nel periodo di sperimentazione.

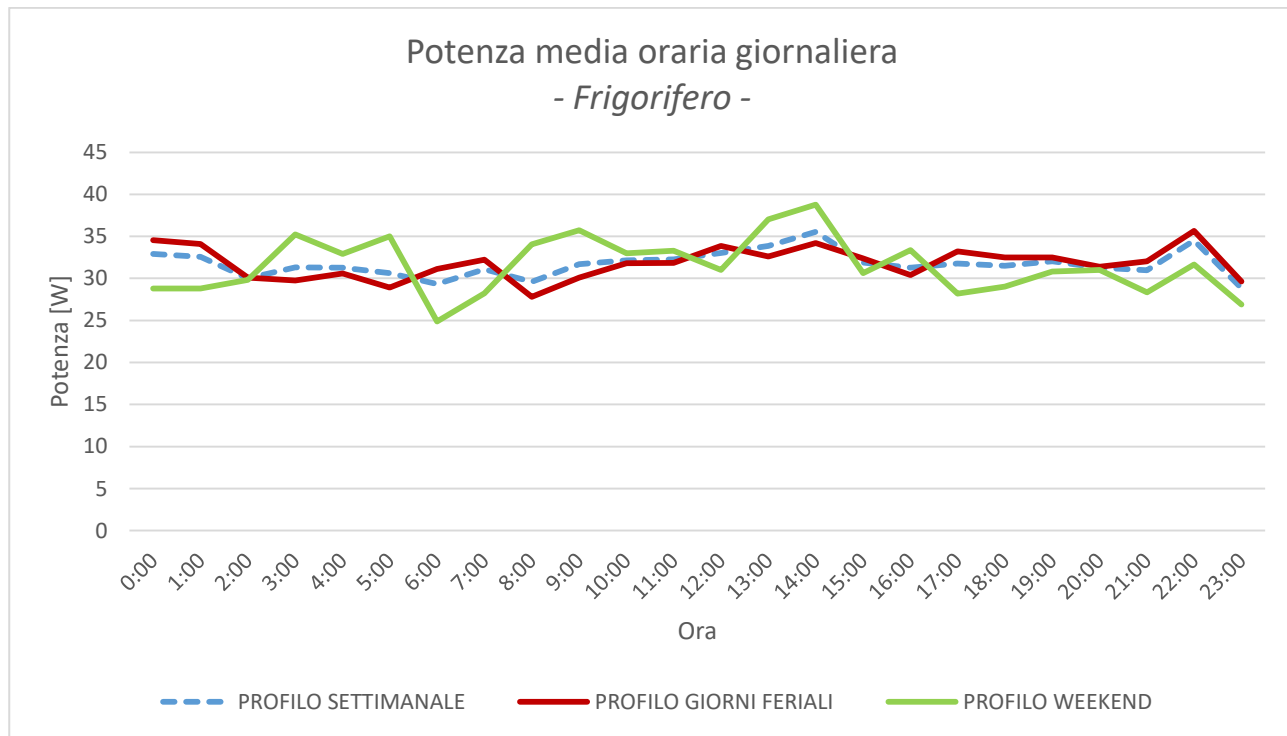


Figura 44. Profilo di utilizzo del frigorifero.

Il profilo d’uso del forno raffigurato nel grafico in Figura 45 mostra un andamento differente tra i giorni infrasettimanali e nel fine settimana, dove si ha un unico picco con valori di potenza richiesta decisamente maggiori nelle ore centrali della giornata (11:00-15:00) compatibili con il pranzo. Durante la settimana, invece, i valori della potenza richiesta sono inferiori e spostati nelle ore del pomeriggio e serali (16:00-20:00).

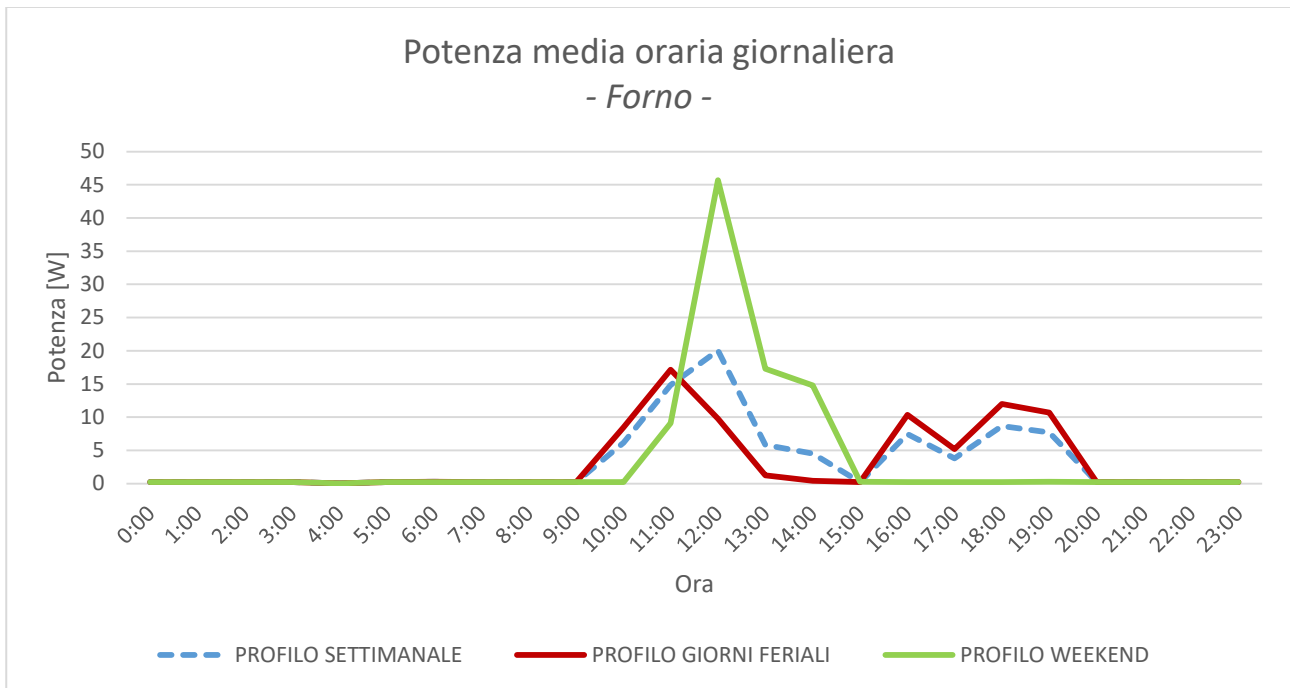


Figura 45. Profilo di utilizzo del forno.

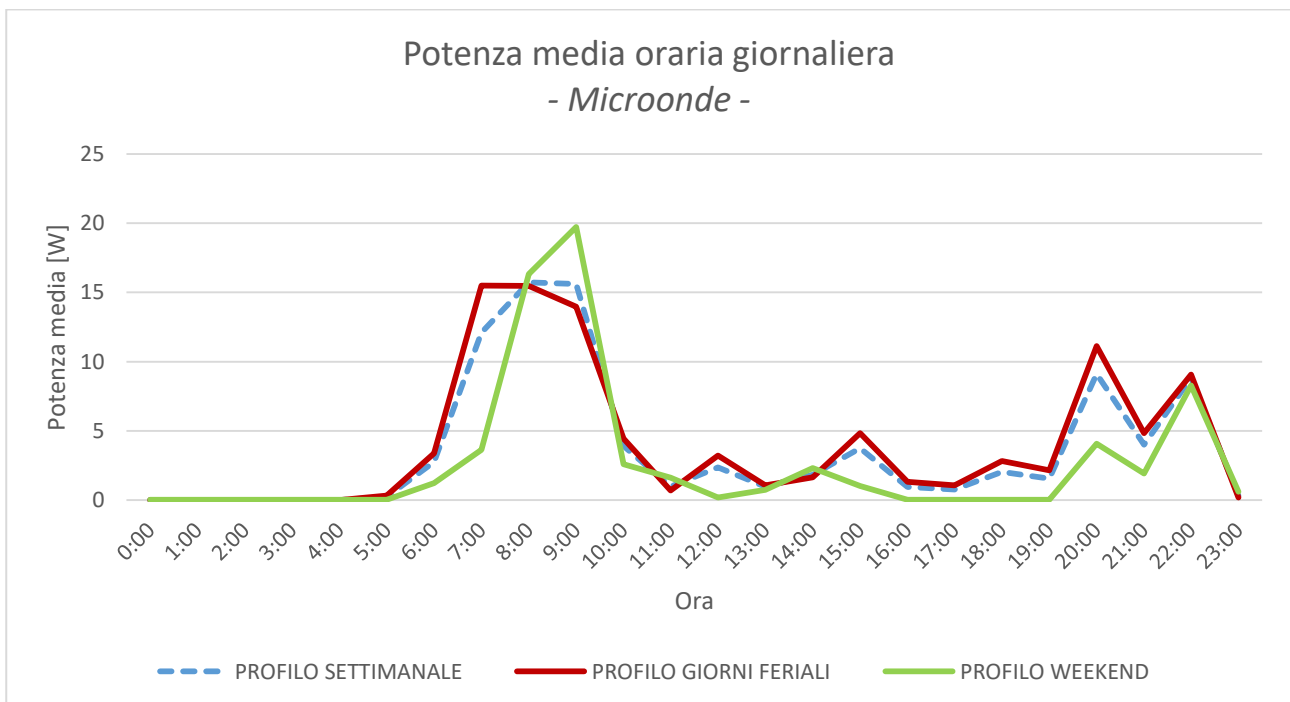


Figura 46. Profilo di utilizzo del microonde.

Il profilo giornaliero del microonde (Figura 46) non mostra significative differenze tra la richiesta di potenza nei giorni feriali (linea rossa) e nei giorni festivi (linea verde). Dal grafico si distingue un utilizzo del microonde al mattino tra le ore 6:00 e le ore 11:00 (con un minimo spostamento del carico nel weekend alle ore 7:00), moderati picchi di potenza compatibili con il pranzo (tra le ore 12:00 e le ore 15:00), e un ultimo utilizzo alla sera (ore 20:00 e 22:00).

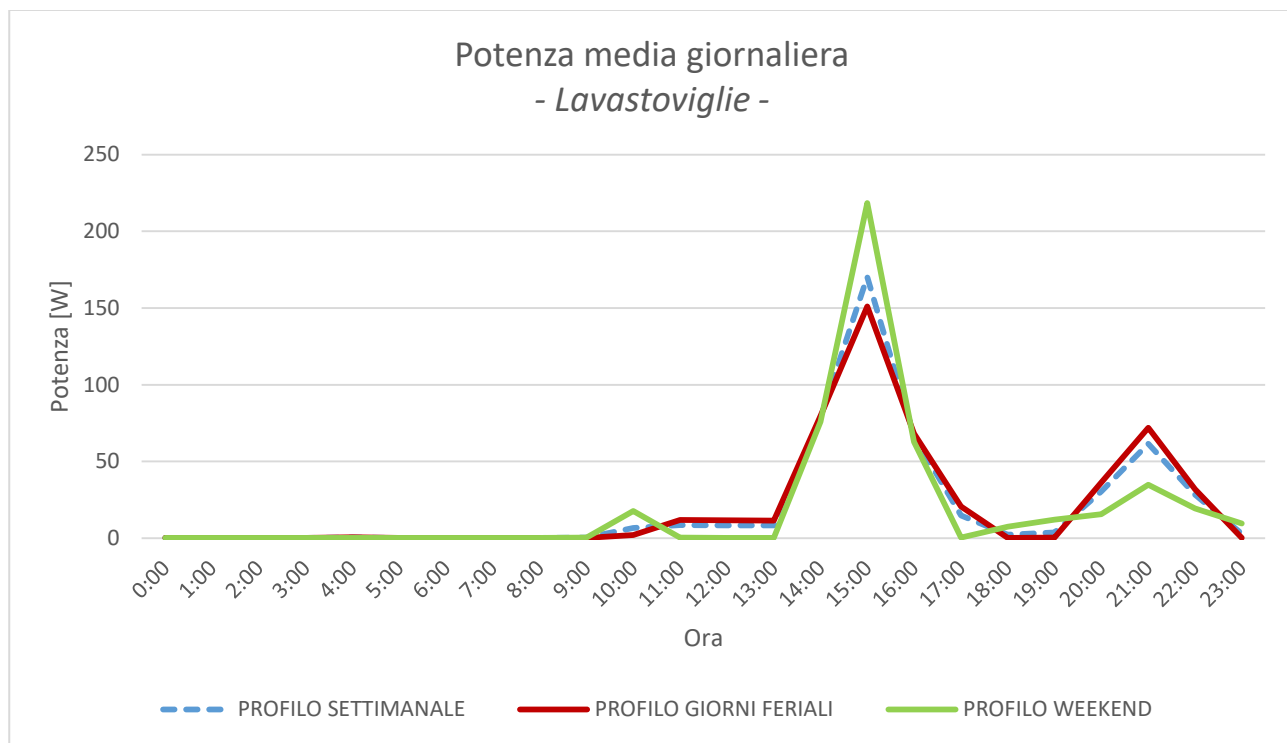


Figura 47. Profilo di utilizzo della lavastoviglie.

Il profilo di carico della lavastoviglie rappresentato in Figura 47 dimostra un utilizzo nelle ore del primo pomeriggio (15:00) e nelle ore serali (21:00), delineando quindi un andamento compatibile con i pasti principali della giornata. Tale profilo non subisce differenze spostandosi dai giorni feriali ai giorni festivi. L’andamento in potenza dei dati provenienti dal televisore (Figura 48) mostra tre grandi momenti di utilizzo durante la giornata: al mattino, nel primo pomeriggio e nelle ore serali. In particolare, il grafico mostra che questo apparecchio viene acceso durante i giorni feriali (linea rossa) alle ore 6:00 e nuovamente acceso alle 12:00. Infine, si presenta un utilizzo serale dalle ore 19:00 alle ore 21:00. Tale pattern suggerisce che il posizionamento di questo televisore sia in cucina o in sala da pranzo, essendo l’andamento compatibile con l’assunzione e la preparazione dei pasti. Durante il weekend (linea verde), si ripropone lo stesso pattern d’uso, dove si nota solo uno spostamento nell’accensione mattutina (alle ore 8:00).

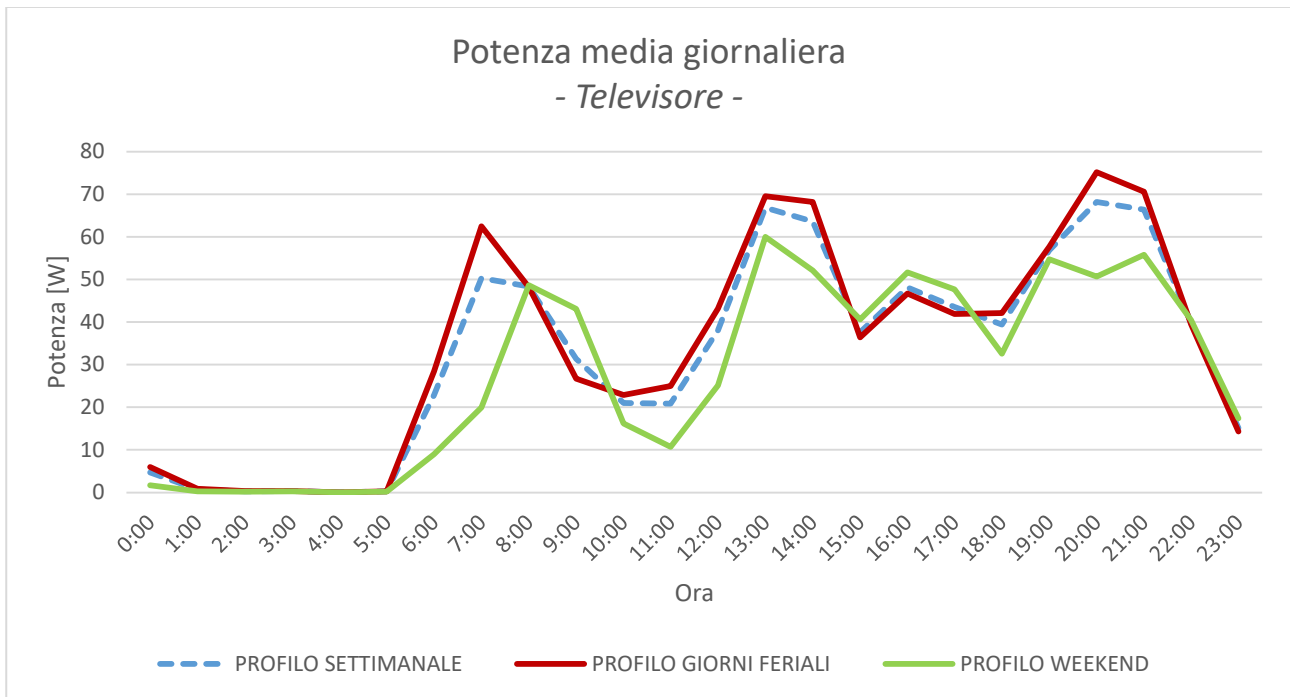


Figura 48. Profilo di utilizzo del televisore.

In Figura 49 viene raffigurato l'andamento dello scaldabagno elettrico. Il profilo dimostra diversi picchi durante l'intera giornata, mostrando una maggiore richiesta di potenza durante il weekend (linea verde).

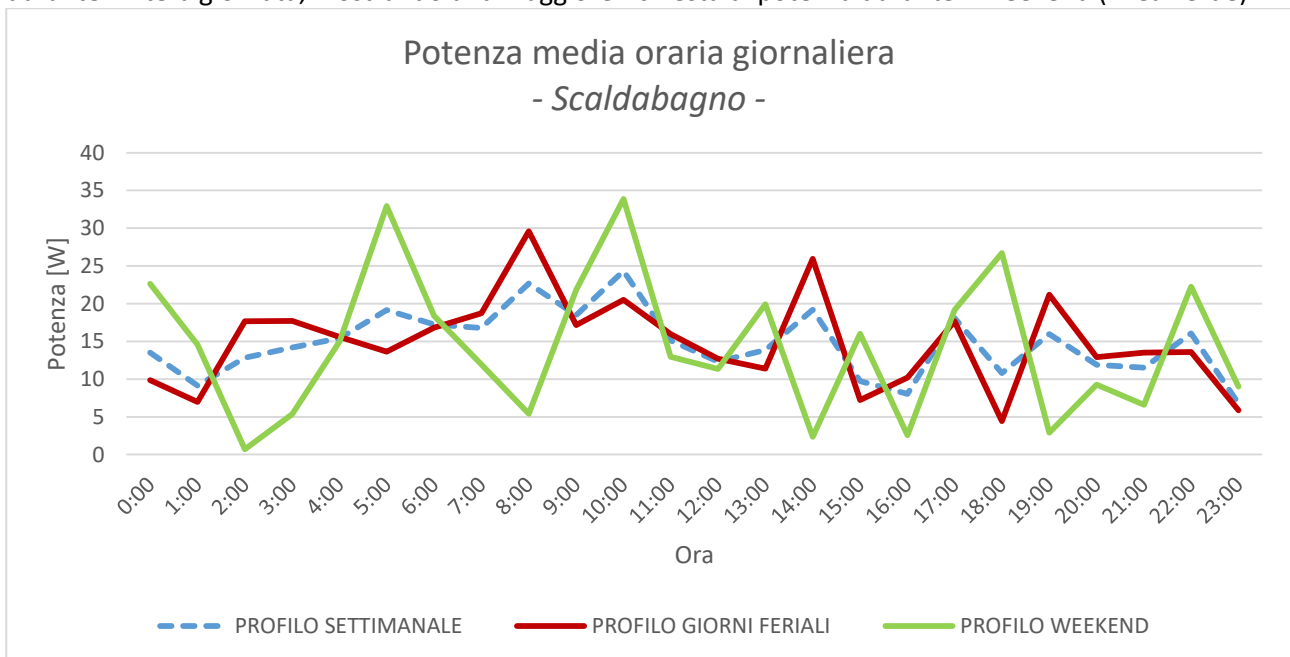


Figura 49. Profilo di utilizzo dello scaldabagno.

Gli appartamenti pilota n.4 e n.5 hanno in comune un impianto fotovoltaico, la cui produzione, interamente ceduta alla rete, viene rappresentata in Figura 50.

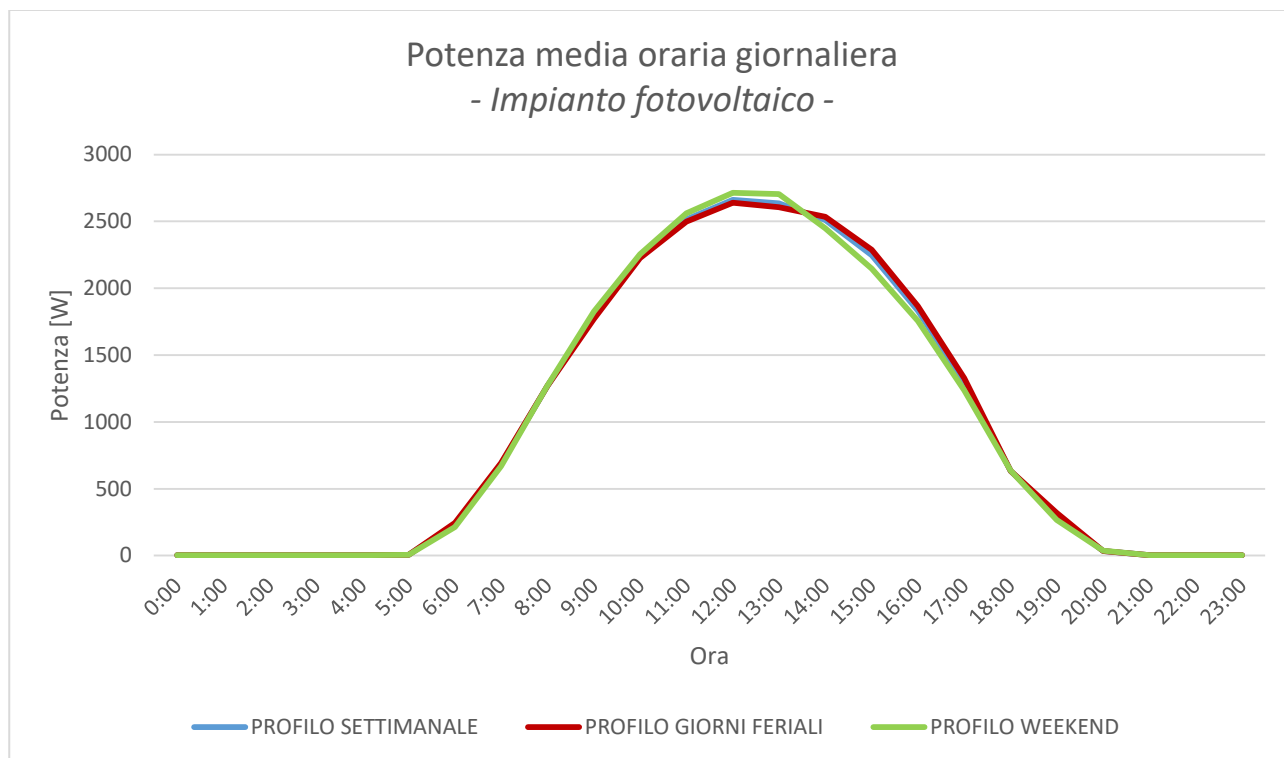


Figura 50. Profilo orario della potenza elettrica prodotta dall’impianto fotovoltaico in comune tra gli appartamenti pilota n.4 e n.5.

2.2 Diagnostica a livello di aggregatore

I dati collezionati per gli edifici oggetto di studio sono stati analizzati per ricavare profili di carico elettrico tipologici relativi al consumo totale e di singoli elettrodomestici. La diagnostica a livello di aggregatore è stata condotta attraverso una consistente e opportuna comparazione con profili di carico derivanti da indagini di letteratura. Questa tipologia di analisi ha anche consentito di individuare opportunità di implementazione di strategie di demand response [1].

Sulla base dello studio condotto in [2, 3] che ha previsto la simulazione dei consumi elettrici di un parco edilizio residenziale composto da 200 appartamenti si è proceduto ad individuare in prima battuta i profili orari mediati nei giorni lavorativi e festivi per ogni singola utenza. Successivamente sono stati individuati gruppi tipologici di profili di carico elettrico in modo da ottenere pattern di riferimento. In seconda battuta si è valutata l’appartenenza dei profili di carico degli appartamenti pilota a questi raggruppamenti. Tale approccio, che in letteratura è definito come “customer classification” [4], consente all’aggregatore di definire tipologie di utenti in termini di “forma” del profilo di carico e, sulla base di queste informazioni unitamente a fattori tipologici del profilo di carico, consentono di strutturare politiche di demand response (su profilo di carico totale o dei singoli dispositivi elettrici) ad esse adattate. Nella prospettiva di avere disponibilità di un parco edilizio monitorato consistente, nel report è stato sviluppato uno strutturato e robusto processo metodologico sul quale si fonda da una parte la classificazione degli utenti appartenenti al network dell’aggregatore dall’altra le implicazioni a livello diagnostico.

2.2.1 Processo metodologico di classificazione degli utenti

Il processo di classificazione degli utenti si compone di quattro fasi principali come mostrato in Figura 51. Dopo una fase preliminare di pre-processamento dei dati volta alla eliminazione e sostituzione di valori statisticamente anomali, per ciascuna utenza è necessario valutare il relativo profilo di carico rappresentativo. Questo profilo di carico è ottenuto mediando tra di loro i profili giornalieri di potenza media oraria nel periodo di tempo soggetto a campagna di misurazioni [4, 5]. In questo modo a ciascuna utenza è associato un solo profilo che per questo motivo può essere definito di riferimento. Nonostante ciò, nel caso in cui sussistano significative differenze tra i profili di carico dei giorni feriali e festivi, è possibile assumere un profilo di riferimento per ciascuna delle due condizioni di carico tipologiche a patto che essi vengano analizzati in processi di classificazione separati [5].

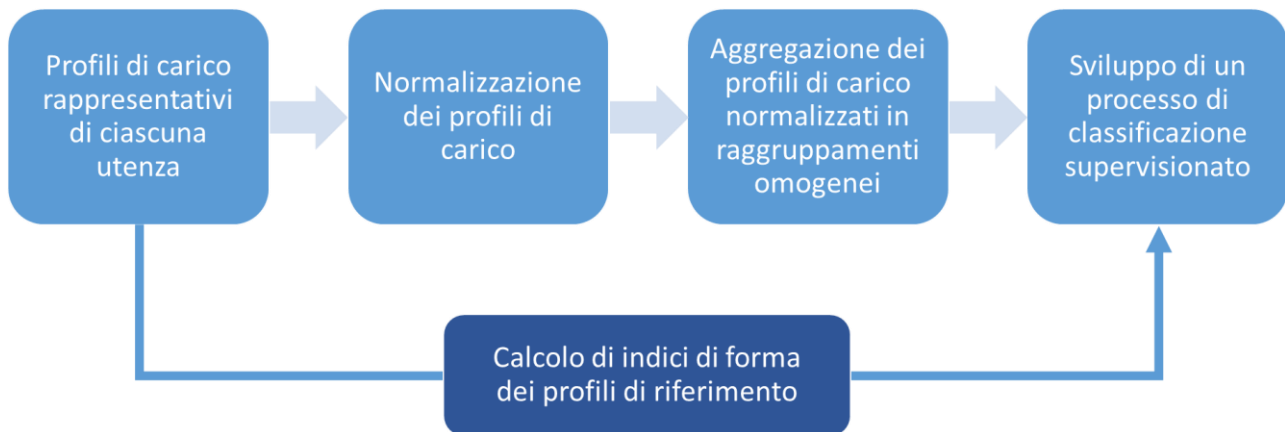


Figura 51. Processo metodologico di “customer Classification”.

Una volta calcolati i profili di carico rappresentativi per ciascuna utenza essi vengono normalizzati in modo da poter consentire un’analisi di tipo comparativa che non sia soggetta a differenze legate all’intensità dei carichi tra le utenze. La fase di aggregazione infatti ha lo scopo di individuare raggruppamenti di utenze che manifestano similarità per ciò che concerne la forma del profilo in termini di variazione del carico elettrico nel tempo durante il giorno. L’aggregazione dei profili di carico normalizzati viene effettuata attraverso un processo di cluster analysis [6, 7]. Nella letteratura scientifica sono presenti numerosi algoritmi di clustering ma tutti condividono lo stesso obiettivo, ovvero raggruppare nello stesso cluster oggetti simili ed in cluster diversi oggetti dissimili [8]. I processi di clusterizzazione sono potenti ed efficaci e sviluppano le proprie potenzialità specialmente se applicati a dataset estesi. D’altro canto il settaggio dei parametri di input richiede da parte dell’analista una robusta conoscenza del dominio di applicazione. I tre principali aspetti del processo da supervisionare riguardano il concetto di similarità tradotto in opportune metriche di distanza tra gli oggetti (e.g., distanza euclidea, distanza di correlazione), la tipologia di algoritmo di clustering (e.g., partitivo, gerarchico), il numero finale di cluster da ottenere. È chiaro come il controllo dei parametri rappresenti un passaggio cruciale ed allo stesso tempo complesso nel processo di “customer classification”. Per questo motivo, a valle di scelte analitiche demandate all’analista (i.e., metrica di distanza, algoritmo di clustering) sono stati sviluppati in letteratura di settore indici di validazione di clustering basati sulla misura della similarità intra-cluster e di dissimilarità inter-cluster (e.g., Davies Bouldin index, Silhouette index) al fine di guidare la scelta della partizione più adeguata da assumere [4]. Una volta identificati i cluster di utenze, ai loro profili di riferimento normalizzati può essere associata una etichetta di cluster che ne identifica l’appartenenza. Questa etichetta rappresenta la variabile categorica nominale dipendente da predire attraverso lo sviluppo di un processo di classificazione. Anche in questo caso la selezione algoritmica è molto ampia ed è soggetta alla scelta dell’analista. Tra i classificatori maggiormente utilizzati in questo contesto ci sono gli alberi decisionali [5, 9]. Questo tipo di classificatori possono essere rappresentati attraverso una struttura gerarchica ad albero dove i nodi finali (foglie) rappresentano la classe predetta mentre i rami costituiscono le congiunzioni tra i diversi predittori che costituiscono le regole

decisionali di classificazione. Nello specifico l'algoritmo si sviluppa basandosi su split sequenziali del dataset al fine di generare partizioni di dataset più omogenee possibili rispetto alla variabile categorica dipendente. Questi split hanno inizio dal nodo contenente tutto il campione statistico (nodo radice) terminando infine nei nodi finali (nodi foglie) [8]. Uno dei vantaggi di questi classificatori è la possibilità di trasformarne l'output in una serie di regole decisionali di tipo "if – then" facilmente interpretabili ed implementabili per effettuare la classificazione di una nuova utenza all'interno dello stock di utenze gestite dall'aggregatore. Come descritto precedentemente affinché l'albero decisionale si sviluppi è necessario utilizzare per la classificazione, un set di variabili indipendenti definiti predittori rispetto ai quali effettuare gli split del dataset. Nel framework metodologico in Figura 51 si nota che il set di predittori viene calcolato a valle dell'identificazione dei profili di carico rappresentativi prima che vengano normalizzati. Questi predittori consistono in indici sintetici caratteristici in grado di distinguere nel processo di classificazione le forme di profili appartenenti a cluster diversi. In [4, 5] vengono proposti una serie di indici di seguito riportati in Tabella.

Tabella 12. Indici adimensionali di forma del profilo di carico giornaliero [3]

Indice di forma	Definizione	Periodo di riferimento
Rapporto giornaliero P_{media}/P_{max}	$I_1 = P_{media,day}/P_{max,day}$	1 giorno
Rapporto giornaliero P_{min}/P_{max}	$I_2 = P_{min,day}/P_{max,day}$	1 giorno
Impatto assorbimento notturno	$I_3 = \frac{1}{3} \cdot P_{media,notte}/P_{media,day}$	1 giorno (periodo notturno di 8 ore, dalle 23:00 alle 06:00)
Impatto assorbimento ore pranzo	$I_4 = \frac{1}{8} \cdot P_{media,pranzo}/P_{media,day}$	1 giorno (periodo pranzo di 3 ore, dalle 12:00 alle 15:00)
Rapporto giornaliero P_{min}/P_{media}	$I_5 = P_{min,day}/P_{media,day}$	1 giorno

2.2.2 Applicazione del processo di classificazione degli utenti a livello di aggregatore

Sulla base dello studio condotto in [2, 3] che ha previsto la simulazione annuale per 200 appartamenti di carichi elettrici su base oraria si è proceduto ad individuare i profili di carico di riferimento per ciascuna utenza. In particolare questi profili di carico sono stati ottenuti mediando tra di loro i profili giornalieri di potenza media oraria riferendosi ai soli giorni lavorativi. Per i profili di riferimento non ancora i normalizzati vengono calcolati gli indici di forma riportati in Tabella. A valle di questo arricchimento del dataset con variabili di predizione da usare nel processo di classificazione, i 200 profili di riferimento vengono normalizzati.

Infatti per poter condurre un'analisi comparativa e di aggregazione dei profili di carico la normalizzazione risulta essere un passaggio fondamentale poiché, per quanto affermato precedentemente, gli appartamenti oggetto di analisi potrebbero essere soggetti ad eterogeneità dal punto di vista della potenza elettrica installata. Per far sì che le analisi a livello di aggregatore possano essere condotte è necessario quindi rendere i profili di assorbimento elettrico indipendenti dalla loro dimensionalità. Ciò che risulta essere oggetto di analisi è strettamente legato alla sola variazione nel tempo dei carichi elettrici.

La normalizzazione dei profili di riferimento è stata effettuata calcolando lo share [10] $E_{i,norm}$ di consumo di energia elettrica oraria E_i rispetto al consumo totale giornaliero $E_{tot,day}$ come segue:

$$E_{i,norm} = \frac{E_i}{E_{tot,day}}$$

A seguito della fase di normalizzazione i 200 profili di riferimento sono stati soggetti ad un processo di clusterizzazione. Per queste analisi è stato utilizzato un algoritmo di clustering gerarchico con metodo di aggregazione Ward utilizzando come misura di dissimilarità la distanza euclidea secondo la seguente formula:

$$D_{jk} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2}$$

Dove x_i è la componente i -esima dei profili di carico di riferimento normalizzati j e k . Il metodo Ward consente di quantificare la distanza tra due oggetti statistici o gruppi di oggetti come incremento della somma degli errori quadratici (Error Sum of Squares) rispetto al centro di massa del cluster (centroide) derivante dalla loro fusione in un unico raggruppamento. Questo approccio agglomerativo è di tipo bottom-up, ovvero inizialmente ogni profilo di riferimento costituisce un cluster e mano a mano vengono fusi insieme fino a quando tutti gli oggetti sono contenuti in un solo cluster. Il risultato finale di questa analisi può essere rappresentato graficamente attraverso un dendrogramma che mostra l'agglomerazione degli oggetti statistici rispetto alla loro distanza di fusione. La procedura di taglio del dendrogramma, ovvero di scelta del numero di cluster finali k , costituisce la parte non supervisionata del processo, e quindi più soggetta alla interpretazione dell'analista. A tal proposito ci si è serviti dell'indice di validazione di clustering Davies-Bouldin basato sul rapporto di similarità intra-cluster e dissimilarità inter-cluster. In Figura 52 è riportato il taglio del dendrogramma a 3 cluster, identificati dall'indice di validazione come la migliore partizione da assumere. In Figura 53 sono invece riportati i tre raggruppamenti ricavati dalle analisi di clustering con evidenza dei profili centroidi e deviazione standard attorno ad essi.

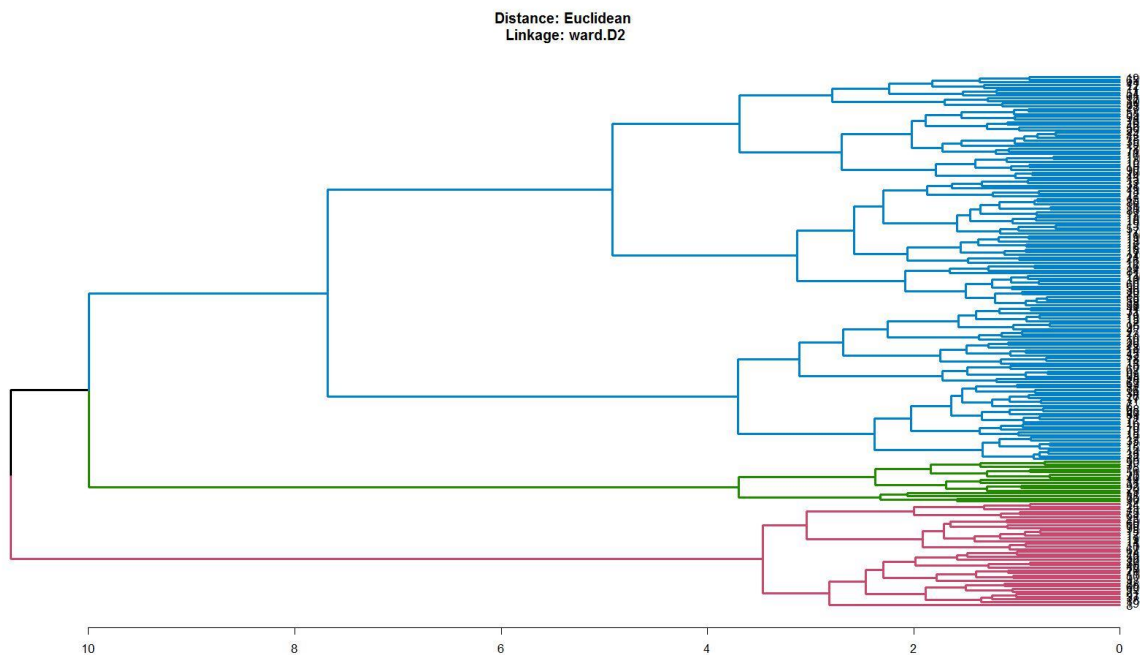


Figura 52. Taglio del dendrogramma a 3 cluster.

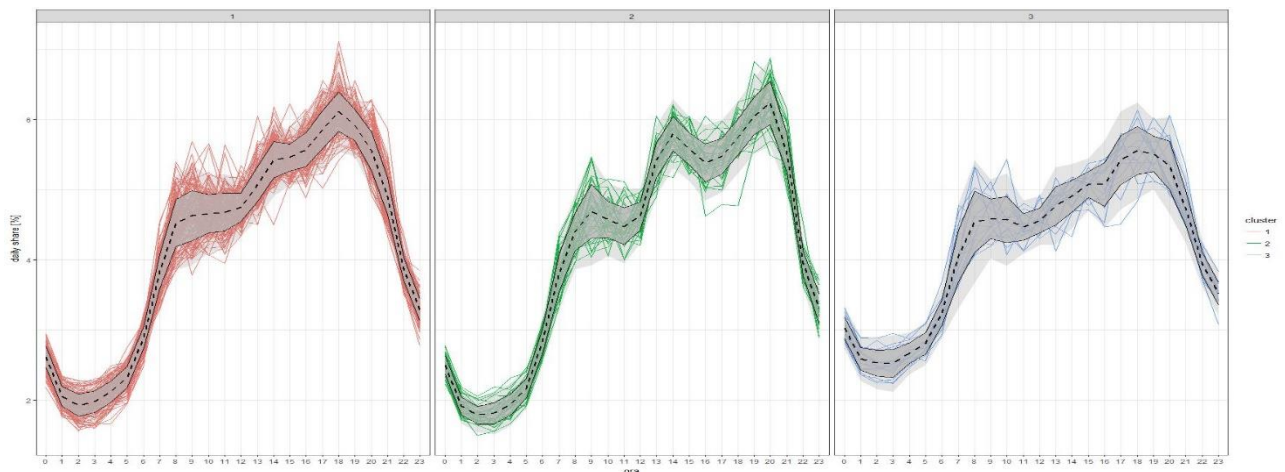


Figura 53. Cluster di profili di carico medio normalizzato con relativi centroidi e deviazione standard attorno agli stessi.

Una volta identificati i cluster di riferimento è stato sviluppato un classificatore in modo da estrarre regole decisionali di caratterizzazione degli utenti. L'algoritmo utilizzato è il CART (Classification And Regression Tree) basato sulla creazione di split binari sequenziali fino al raggiungimento di nodi finali abbastanza puri da non dover essere ulteriormente splittati. Il classificatore ha come variabile categorica da predire l'etichetta di cluster, mentre gli indici di forma (calcolati come da Tabella) sono le variabili numeriche indipendenti [5]. Il modello così sviluppato è stato soggetto ad un processo di cross-validation in modo da scegliere la corretta dimensione dell'albero (numero di nodi finali) al fine di evitare problemi di overfitting nella classificazione. In Figura 54 è riportato in forma di output grafico il risultato del modello di classificazione da cui sono state estratte le regole decisionali riportate in Tabella 1. In Tabella 1 sono invece riportati gli indici di prestazione del classificatore in termini di richiamo, precisione ed accuratezza totale del modello.

La Tabella 1 che prende il nome di matrice di confusione è una matrice quadrata $n \times n$ dove la prima colonna corrisponde a quella delle etichette di classe reali da predire mentre nella prima riga sono presenti le etichette di classe predette. Sulla diagonale della tabella è quindi riportato il numero di oggetti per i quali la classe predetta corrisponde a quella reale definiti come veri positivi.

Allo stesso tempo possono essere definiti i falsi positivi ed i falsi negativi. I falsi positivi rappresentano gli oggetti misclassificati in una classe e corrispondono alla somma dei valori nella colonna a meno di quello sulla diagonale. I falsi negativi sono quegli oggetti appartenenti ad una classe che però sono stati misclassificati in altre classi e corrispondono alla somma dei valori nella riga a meno di quello sulla diagonale. In questo modo per ciascuna etichetta di classe è possibile calcolare precisione e richiamo.

$$precisione = \frac{veri\ positivi}{veri\ positivi + falsi\ positivi}$$

$$richiamo = \frac{veri\ positivi}{veri\ positivi + falsi\ negativi}$$

Dove la precisione rappresenta la probabilità di osservazioni statistiche correttamente classificate in una etichetta di classe predetta mentre il richiamo rappresenta la probabilità di una osservazione statistica appartenente ad una certa etichetta di classe di essere stata correttamente classificata. Accuratezza, richiamo e precisione sono tre indici utili a descrivere la prestazione del modello di classificazione. In particolare il modello sviluppato raggiunge una accuratezza dell'88% che può ritenersi un valore di prestazione ampiamente soddisfacente.

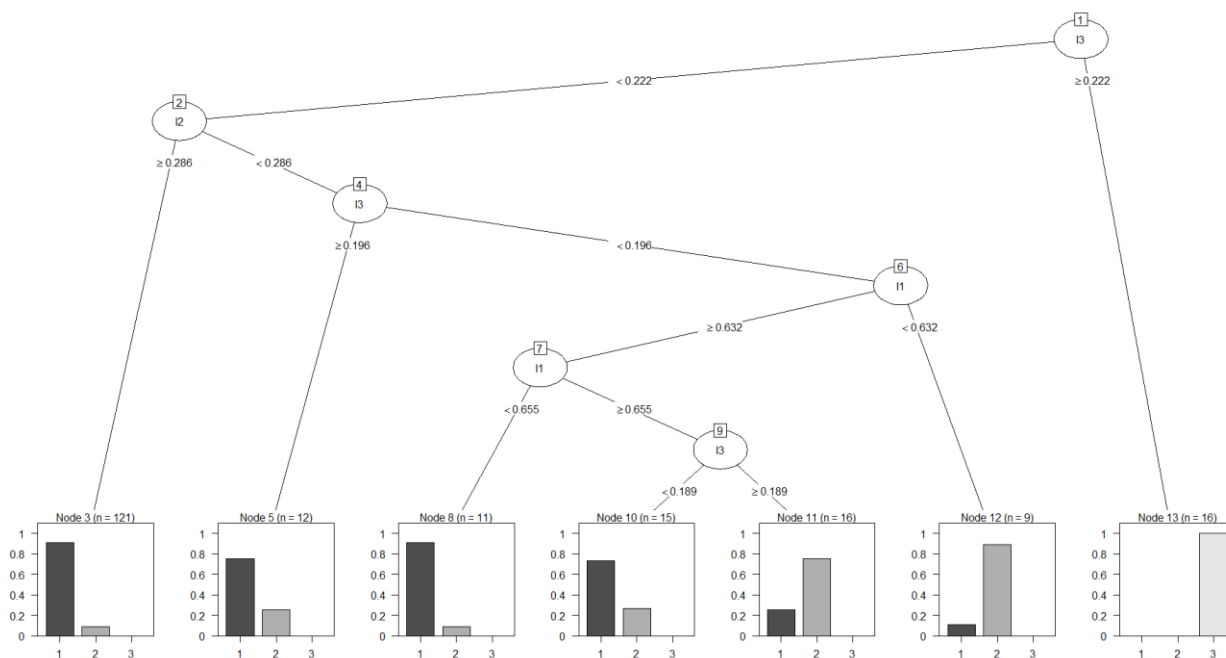


Figura 54. Albero di classificazione CART.

Tabella 13. Regole decisionali classificatore CART.

Cluster	Regole
1	← If I3 < 0.222 AND I2 ≥ 0.266
	← If I3 < 0.222 AND I2 < 0.266 AND I3 ≥ 0.196
	← If I3 < 0.222 AND I2 < 0.266 AND I3 < 0.196 AND I1 < 0.655
	← If I3 < 0.222 AND I2 < 0.266 AND I3 < 0.196 AND I1 ≥ 0.655 AND I3 < 0.189
2	← If I3 < 0.222 AND I2 < 0.266 AND I3 < 0.196 AND I1 ≥ 0.655 AND I3 ≥ 0.189
	← If I3 < 0.222 AND I2 < 0.266 AND I3 < 0.196 AND I1 < 0.632
3	← If I3 ≥ 0.222

Tabella 14. Matrice di confusione classificatore CART.

Cluster	1	2	3	Total	Richiamo
1	140	5	0	145	96%
2	19	20	0	39	51%
3	0	0	16	16	100%
Total	159	25	16	200	Average 82%
Precisione	88%	80%	100%	Average 89%	

A valle della definizione di un modello, i casi studio oggetto delle analisi, ovvero gli appartamenti pilota, sono stati classificati, a titolo esemplificativo, in uno dei tre raggruppamenti tipologici identificati per giorni feriali. Per far ciò, per ciascun caso studio è stato calcolato il suo profilo di riferimento e i rispettivi indici di forma.

Nel dettaglio, nonostante il periodo di interesse sia quello infrasettimanale (lunedì – venerdì), sono state condotte analisi sui profili normalizzati per ciascun giorno della settimana in modo da poter cogliere differenze anche a livello di singoli giorni.

In Figura sono mostrati a titolo di esempio i profili medi giornalieri normalizzati per il caso pilota n° 2. Come si evince, questo appartamento non risulta essere soggetto a variazioni di profili di carico significative durante nel periodo infrasettimanale mentre si registra un picco di potenza media oraria tipica dei sabati e delle domeniche attorno alle 10:00 che non si verifica nei restanti giorni. Per questo caso studio ad esempio è possibile riscontrare un profilo di utenza che svolge attività prettamente serali con assorbimenti di potenza elettrica che si protraggono durante le prime ore della notte fino al raggiungimento di un valore di consumo medio che rimane costante attorno alle ore 02:00. Durante le ore serali comprese tra le 18:00 e le 21:00 gli utenti consumano mediamente più del 20% del loro fabbisogno di energia elettrica giornaliera.

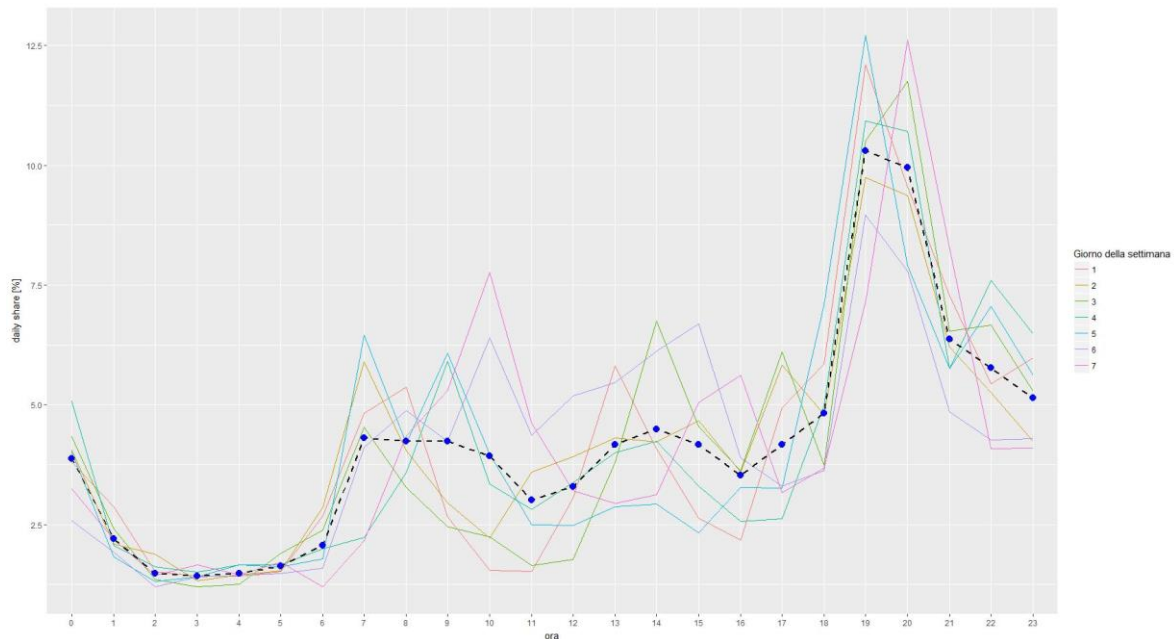


Figura 55. Profili di riferimento dell'appartamento pilota n° 2

In figura 56 invece sono riportati i profili di medi giornalieri normalizzati dell'appartamento pilota n° 4. Per questo appartamento gli utenti tendono ad avere un utilizzo maggiore dei dispositivi elettrici in due periodi della giornata a differenza del caso studio precedentemente discusso. In questo caso infatti si registrano picchi di potenza elettrica in concomitanza delle ore pasto con un raggiungimento di un consumo costante notturno intorno alle 23:00. Infatti mediamente alle 15:00 e alle 21:00 si registra un assorbimento pari a circa l'8-10 % di quello giornaliero ad eccezione della domenica durante la quale il picco diurno corrisponde ad un valore di share giornaliero di circa 15%. In questo caso studio le attività svolte all'interno dell'appartamento non si protraggono durante le ore notturne e sembrano essere soggette ad una certa ripetitività durante i giorni della settimana. A valle di queste analisi è possibile constatare che giorni feriali e festivi effettivamente sviluppano alcune differenze localizzate in specifici periodi della giornata, legittimando una analisi di classificazione che sia diversificata per le due condizioni di carico e a loro volta i giorni feriali sviluppano una similarità interna che consente di considerarne la media un profilo rappresentativo attendibile.

In Figura 57 sono riportati per 4 casi pilota i profili giornalieri di riferimento normalizzati di potenza media oraria, con aggiuntiva specifica del profilo medio relativo ai soli giorni feriali (linea rossa) e ai fine settimana (linea blu). In questo caso sono stati considerati i profili inerenti i soli giorni lavorativi ad esclusione dei fine settimana non inclusi in questo processo.

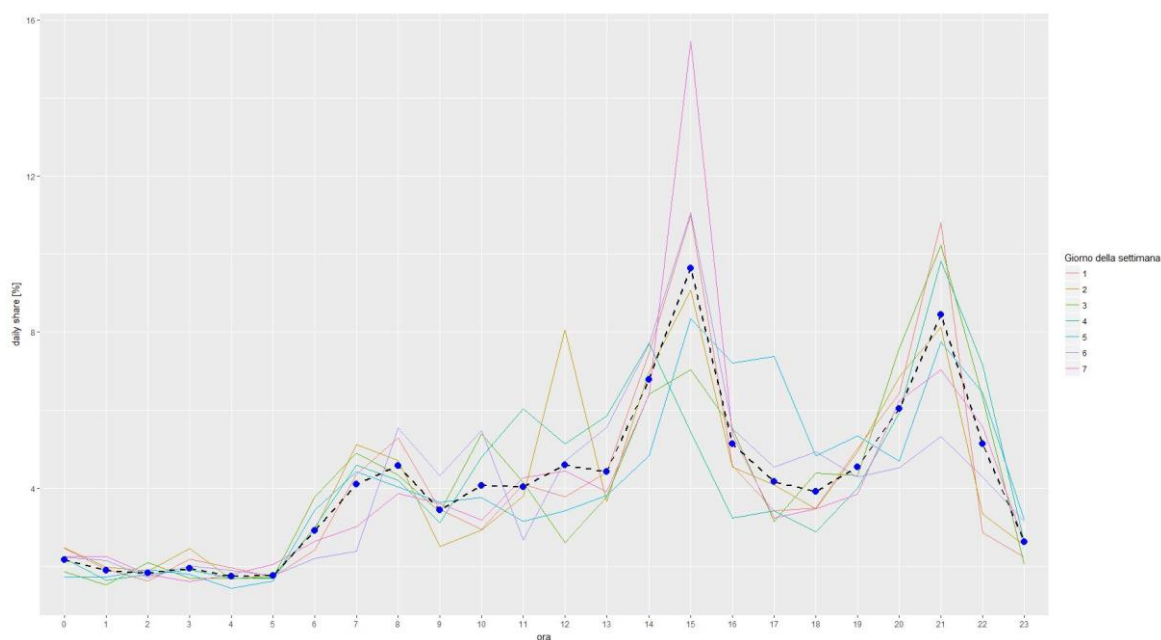


Figura 56. Profili di riferimento dell'appartamento pilota n.4.

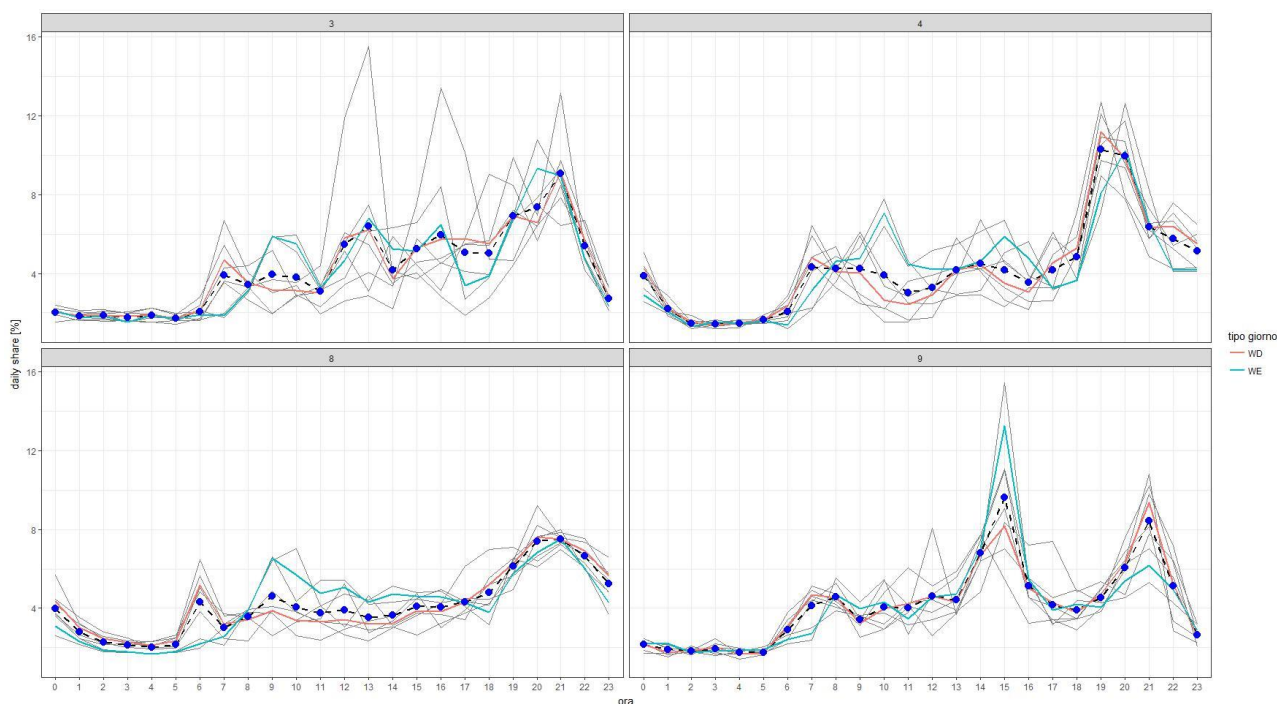


Figura 57. Profili giornalieri di potenza media oraria per quattro appartamenti pilota dell'intero periodo di monitoraggio, relativi ai soli giorni feriali e ai soli fine settimana.

Avendo precedentemente calcolato gli indici di forma per i profili di potenza media oraria nei giorni feriali dei casi pilota, attraverso le regole decisionali estratte e riportate in Tabella 1 è possibile stabilire l'appartenenza di ciascun profilo ad uno dei raggruppamenti tipologici (Figura 58). Nella prospettiva di avere disponibilità di un parco edilizio monitorato consistente questo processo metodologico sul quale si fonda la classificazione degli utenti appartenenti al network dell'aggregatore auspica a definire linee guida per indirizzare procedure diagnostiche. Queste ultime hanno l'obiettivo di individuare variazioni nel comportamento dell'utente rispetto al consumo energetico tipologico della sua classe di appartenenza per

la quale è possibile definire indicatori sintetici che caratterizzano sia la forma del profilo che la sua intensità.

L'aggregatore in questo contesto potrebbe basare le procedure di demand response intervenendo su tutti i carichi shiftabili (e.g., elettrodomestici) di cui conosce la curva di carico al fine di modificare la curva di domanda totale di un utente o di un gruppo di utenti. Riguardo quanto appena esposto, la caratterizzazione dei carichi per gli appartamenti pilota è stata effettuata nella sezione 2.1.3 del report, mentre la progettazione della comunicazione all'utente (che può essere finalizzata a suggerire un cambio di gestione dei carichi shiftabili) è stata descritta e discussa in sezione 2.3.

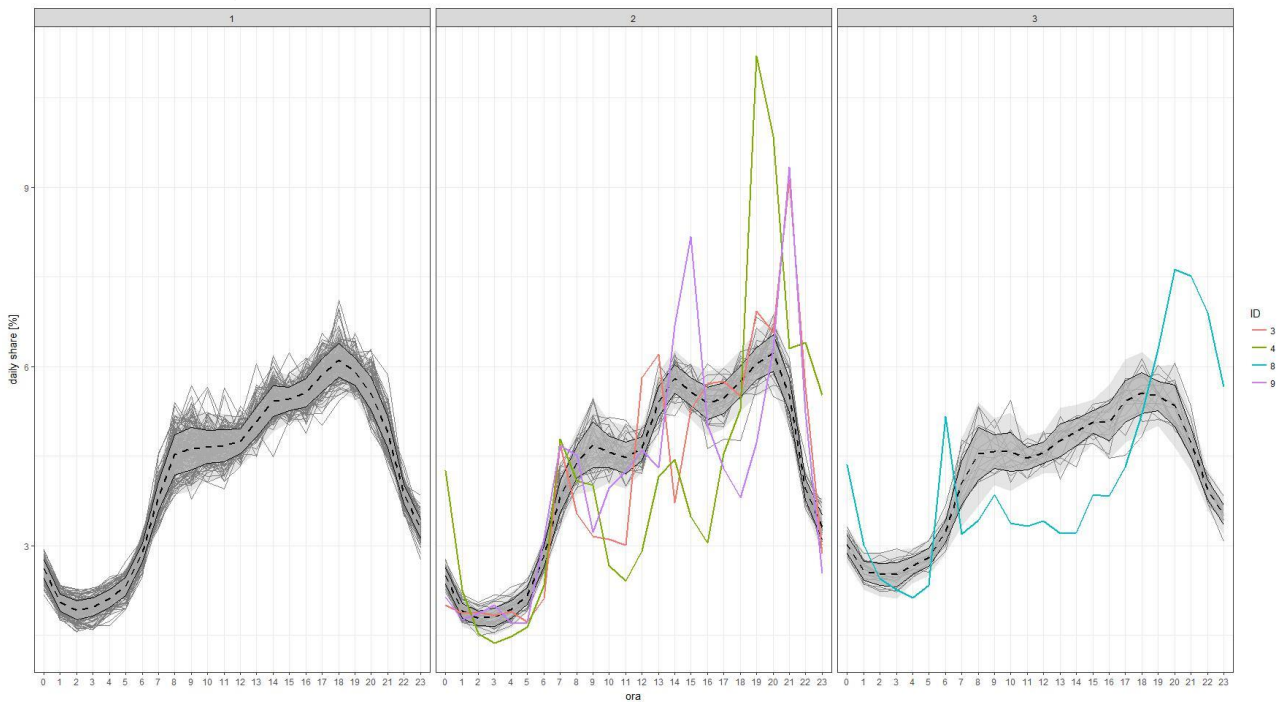


Figura 58. Associazione del profilo di carico medio giornaliero relativo a quattro ID ad uno dei cluster di profili identificati

2.3 Progettazione della comunicazione agli utenti

Numerose ricerche hanno evidenziato come il comportamento degli utenti abbia un'importante influenza sia sui consumi energetici sia sulla qualità ambientale indoor. Gli utenti, infatti, stimolati da diversi fattori interni e/o esterni, interagiscono con i molteplici sistemi, di cui l'edificio è composto, al fine di ristabilire le condizioni per loro ottimali [11, 12, 13]. Studi a livello europeo hanno mostrato come azioni comportamentali legate ad un uso consapevole ed ottimale delle tecnologie possono consentire un risparmio energetico tra il 15% e il 20%. In questo contesto, l'approfondimento del tema del comportamento dell'utente e quello di recente interesse legato al cambiamento comportamentale rivestono un ruolo fondamentale nel raggiungimento di questi obiettivi. Per tali ragioni, l'interesse di questa sezione è promuovere azioni degli utenti legate all'uso dell'energia all'interno degli edifici più consapevoli, sia attraverso lo studio delle abitudini e degli atteggiamenti degli utenti sia tramite l'elaborazione e la successiva somministrazione di indicazioni utili ai vari attori.

Infatti, l'utilizzo di opportune **strategie di comunicazione**, a seguito di un monitoraggio energetico e/o ambientale, può incoraggiare le persone ad adottare comportamenti utili a ridurre l'impatto negativo sull'ambiente e, contestualmente, può incrementare il coinvolgimento degli utenti e la corretta interazione di questi con i dispositivi presenti in ambiente [14, 15]. Di conseguenza, al fine di creare consapevoli legami

tra le caratteristiche ambientali, il consumo energetico e il comportamento degli occupanti, la trasmissione di informazioni assume un ruolo cruciale.

Nello specifico, il termine “**comunicazione**” implica una condivisione di contenuti (messaggio) sulla base di valori e codici condivisi tra emittente e ricevente, in un contesto in cui i mezzi e gli strumenti utilizzati devono essere idonei a raggiungere uno specifico destinatario in cui l'emittente consideri i messaggi di ritorno (feedback) del ricevente.

La corretta comunicazione si basa su sette elementi fondamentali, di seguito riportati:

- **analisi dello scenario o del contesto**, ovvero della situazione in cui si colloca la comunicazione;
- **emittente**, ovvero colui che invia il messaggio;
- **individuazione del ricevente** o del destinatario a cui è rivolto il messaggio (gli utenti di un appartamento, cittadini, imprese, Pubblica Amministrazione...);
- **individuazione del messaggio**, ovvero del contenuto della comunicazione espresso dall'emittente (buon fondamento teorico implica una buona base per la comprensione);
- **il referente**, ovvero l'argomento a cui si fa riferimento (in questo caso specifico i comportamenti che possono portare sia ad un miglioramento delle condizioni ambientali sia ad una diminuzione dei consumi energetici). I comportamenti proposti devono essere indirizzati verso un obiettivo ben preciso; inoltre, più l'obiettivo è attraente e più gli effetti sono visibili nel breve termine, e più l'adozione di uno specifico comportamento da parte dell'utente è motivata. Ancora, gli obiettivi devono essere ambiziosi ma realistici, descritti e realizzabili in un breve periodo;
- **il codice**, ovvero il linguaggio che permette di diffondere il messaggio (grafico, iconico, visivo, sonoro...);
- **il canale**, ovvero i differenti metodi che consentono la diffusione del messaggio dall'emittente al ricevente. I canali possono essere naturali oppure artificiali (carta, telefono cellulare, internet).

Dal momento che la quantità di informazioni che gli utenti ricevono ogni giorno è elevata, ne consegue che non tutti i messaggi vengono assimilati. Di conseguenza, le informazioni che si intende fornire devono attirare l'attenzione e suscitare interesse, ricordando che la chiarezza del messaggio è fondamentale affinché questo possa essere recepito, compreso ed interpretato correttamente da interlocutori con background differenti. In conclusione, con “comunicazione” non si intende la semplice trasmissione di dati ma, piuttosto, un'interazione di diversi aspetti in cui la capacità di attirare l'attenzione, la capacità di essere recepito correttamente, la capacità di dare informazioni comprensibili e la capacità essere ricordato ricoprono un ruolo importante.

La comunicazione deve essere intesa come un percorso di educazione (ambientale ed energetica) volta a formare ed incentivare gli utenti per ridurre i consumi attraverso una maggiore consapevolezza delle conseguenze delle proprie abitudini o comportamenti.

2.3.1 Le strategie di comunicazione e le rappresentazioni grafiche.

Le strategie comunicative possono indirizzare verso dei cambiamenti più o meno marcati e di più o meno facile attuazione a seconda dei metodi utilizzati.

Un primo livello riguarda il **cambiamento cognitivo** il quale può essere raggiunto mediante una semplice trasmissione di adeguate informazioni con lo scopo di creare consapevolezza e conoscenza (ciò non presuppone necessariamente un cambiamento di comportamento).

Più complesso è il **cambiamento dell'azione**, che consiste nell'indurre gli utenti ad una modifica della condotta entro un determinato tempo attraverso la somministrazione di esaustive informazioni ed efficaci motivazioni. Infine, l'ultimo livello riguarda il **cambiamento di comportamento**, di complessa realizzazione in quanto prevede una variazione a lungo termine delle proprie abitudini.

Le difficoltà nel raggiungimento di quest'ultimo livello si trovano nella complessità dei comportamenti: per **modificare un'abitudine** è necessario ripetere più volte il comportamento corretto (in termini di risparmio energetico) affinché questo diventi una nuova abitudine (prendendo il posto della precedente); per altri

comportamenti sono necessarie azioni incisive che prevedono, per esempio, scelte profonde in termini di spesa economica etc.

Il cambiamento del comportamento è un percorso graduale in cui, come mostra il grafico sottostante, l'individuo attraversa 4 differenti macro fasi prima di raggiungere il proprio obiettivo. In principio le persone non sono consapevoli delle conseguenze delle proprie azioni, non possiedono gli strumenti per associare le proprie abitudini a consumi "alti" o "bassi" o a effetti "benefici" o "dannosi" sull'ambiente. Di conseguenza, lo sviluppo di efficienti strategie di comunicazione e di informazione, possono contribuire verso un importante miglioramento: gli utenti saranno sempre più in grado di comprendere il significato delle proprie azioni, avranno il desiderio di attuare comportamenti più consapevoli fino al momento che tali comportamenti diventeranno automatici, ovvero diventeranno le nuove abitudini. Ciò è possibile grazie ad un efficace processo della comunicazione attraverso informazioni semplici, immediate e di facile interpretazione che permettono agli utenti di condividere il messaggio ricevuto a tal punto da passare all'azione. Ne consegue che tale tema presuppone una multidisciplinarietà in cui fondamentale è il contributo di diverse figure professionali (tecnici, psicologi, antropologi...).

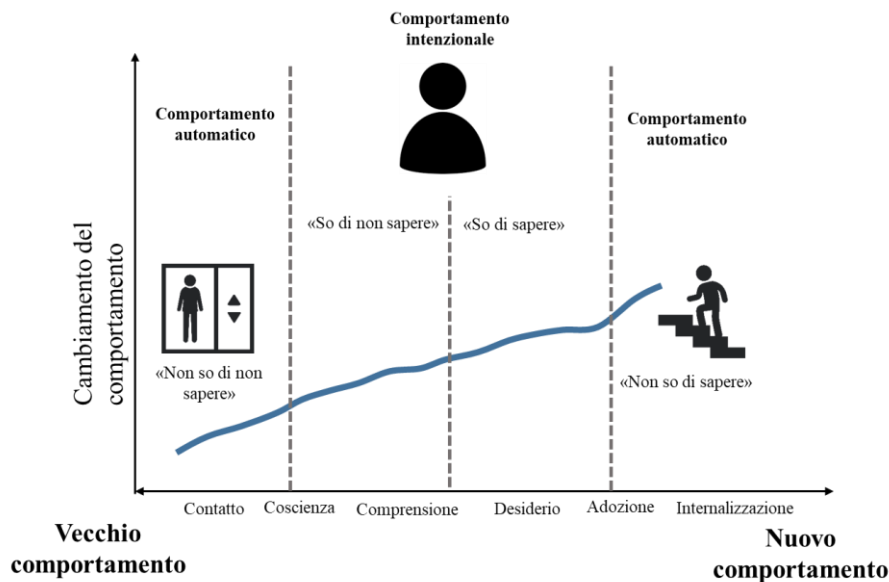


Figura 59. Fasi del cambiamento comportamentale

2.3.2 Articolazione della comunicazione agli utenti negli edifici pilota.

L'articolazione delle fasi di sperimentazione della comunicazione consiste in 3 parti:

- **Preparazione.** In questa prima fase vengono raccolti mediante sensori i dati (grezzi) e, successivamente, elaborati con l'obiettivo di costruire degli indicatori da trasmettere attraverso il modello comunicativo più adeguato.
- **Attività in campo.** Questa rappresenta la fase di monitoraggio e di interazione con gli utenti; a seguito dell'elaborazione dei dati risulta necessario individuare le azioni da comunicare all'utente mediante diverse strategie (programmi basati sull'informazione, sulla interazione sociale e sull'educazione).
- **Verifica.** Analisi del livello di consapevolezza ambientale ed energetica raggiunto e riconoscimento dei comportamenti virtuosi assimilati.

Tra le fasi appena citate, la seconda ricopre un ruolo interessante e allo stesso tempo delicato, ponendo in stretta relazione la figura del ricercatore e l'utente: l'utilizzo di corretti canali e di metodologie di

trasmissione e visualizzazione delle informazioni possono determinare il semplice cambiamento cognitivo oppure il più complesso cambiamento del comportamento. All'utente viene fornita la possibilità di comprendere le conseguenze delle proprie azioni al fine di incoraggiarlo maggiormente verso comportamenti che possono essere definiti energy saving.

I contenuti comunicativi hanno natura ed efficacia differente a seconda della situazione e del target a cui è rivolto il messaggio. L'obiettivo è quello di indurre l'utente all'azione suscitando curiosità e partecipazione; per tali ragioni i programmi comunicativi possono essere suddivisi in diverse categorie.

1- I programmi basati sulla diffusione delle informazioni. Sono i più utilizzati per promuovere il cambiamento del comportamento; riguardano, principalmente, comunicazioni che hanno lo scopo di aiutare gli utenti ad agire consapevolmente e ad alleviare i problemi connessi al consumo energetico. A questa categoria appartengono:

- le **"informazioni semplici"**. Si tratta di contenuti che non necessitano di dispendiose elaborazioni dei dati raccolti e si limitano a trasmettere la situazione attuale relativa sia ai consumi energetici sia alle condizioni di comfort ambientale. Le informazioni sono necessarie per comunicare con l'utente ma non sempre sono sufficienti a determinare un cambiamento di comportamento; per tale ragione si considerano altri tipi di informazioni più specifici;
- le **"informazioni su misura"**. Questi contenuti suppongono la creazione di informazioni ad hoc per raggiungere una persona o un gruppo con caratteristiche tipiche. Esse sono strettamente connesse ai principi delle norme sociali; gli utenti ricevono dei rapporti che non lo informano solamente sul suo consumo energetico ma che confrontano tale consumo con il consumo di abitazioni con caratteristiche simili. Secondo i principi delle norme sociali, l'utente viene influenzato da regole "della società" che, seppur non aventi forza di legge, sono condivise da molti. In questo modo, l'utente tenderà a ridurre il proprio consumo per adeguarsi a quello dei vicini: l'utente si comporta in modo che da essere accettato lasciandosi influenzare dalle opinioni altrui. Questi report potrebbero essere comunicati con cadenza bimestrale in concomitanza con le fatturazioni relative all'energia elettrica e sono da preferire ai report trasmessi via mail in quanto, questi ultimi, risultano più facili da ignorare. Questo tipo di informazioni ha il duplice obiettivo di risparmiare sulla spesa energetica e effettuare una comparazione rispetto ad utenti simili.
- le **"informazioni attraverso modelli"**. Questo tipo di informazioni diffondono i contenuti mediante l'esempio di altre persone che mettono effettivamente in atto i comportamenti consigliati.
- i **"feedback in real-time"**. Si tratta di inviare informazioni all'utente sui consumi connessi alle azioni che sta svolgendo o che ha appena finito di svolgere. I feedback per essere efficaci devono essere trasmessi frequentemente, attraverso l'uso di mezzi tecnologici coinvolgenti, confrontando l'utilizzo di energia sia con gli obiettivi preposti sia con l'utilizzo di energia di altre persone. A questo punto l'utente è chiamato, a seguito del feedback ricevuto, ad agire. Ricevute le informazioni sui consumi energetici o sulle caratteristiche ambientali, l'utente è posto di fronte ad una scelta, generando diverse situazioni: l'utente potrebbe agire immediatamente (utente attivo) ed ottenere un feedback positivo, potrebbe agire in seguito a diversi richiami (utente quasi reattivo) e ottenere, comunque, un feedback positivo (nel caso di effettivo svolgimento dell'azione entro la giornata), oppure potrebbe non reagire (utente non reattivo) ed ottenere un feedback negativo.

2- I programmi basati sull'educazione. Si fondano su strategie connesse alla diffusione della conoscenza al fine di raggiungere un cambiamento comportamentale. Questi programmi sviluppano argomenti legati all'efficienza energetica, all'ecologia e alla sostenibilità e ai livelli di comfort ambientale al fine di educare l'utente [16]. Queste informazioni possono essere trasmesse mediante:

- **pillole informative** strettamente connesse alle azioni che si stanno svolgendo o che si raccomanda di svolgere per invitare gli utenti ad avere comportamenti ecologici e consapevoli;
- **eco-consigli** per avere dei comportamenti maggiormente consapevoli di ampio spettro, riguardando stili di vita "green" esterni all'ambiente domestico (esterni al caso studio);

- **programmi educativi** in cui promuovere l'istruzione e continuare ad applicare ciò che si è imparato anche al di fuori dell'ambiente domestico, ad esempio insegnare ai bambini per creare dei soggetti consapevoli cambiando il comportamento nel lungo periodo;
- **suggerimenti**, ovvero brevi messaggi puntuali che richiamano l'attenzione su uno specifico comportamento in una specifica situazione. In questo caso i messaggi sono semplici promemoria e vengono inseriti laddove il comportamento deve essere espresso.

Lo **stile comunicativo** che viene utilizzato è importante in quanto deve evidenziare le azioni da svolgere e far sì che i comportamenti da adottare risultino di facile comprensione per utenti con differenti background. Gli stili utilizzabili sono sostanzialmente due: **diretto**, viene messa in primo piano l'azione da svolgere e dopo viene fornita la motivazione sul perché è importante seguire determinate abitudini, e **contestuale**, di natura più discorsiva, in cui viene privilegiata la motivazione e successivamente il consiglio sull'azione da svolgere per modificare la situazione. Inoltre lo stile può essere:

- **educativo**: in grado di istruire il destinatario rispetto al contenuto del messaggio;
- **informativo**: per trasmettere notizie, dati e informazioni utili;
- **intrattenimento/divertimento**: per suscitare emozioni nel destinatario;
- **composizione**: una combinazione tra le diverse categorie precedenti.

I **contenuti** devono essere chiari, espliciti e veritieri. Devono arrivare a tutto il pubblico superando barriere fisiche e cognitive; devono risultare completi dal punto di vista informativo per permettere che il destinatario comprenda e si faccia una sua idea; devono essere versatili, affinché e si adattino ai diversi mezzi di comunicazione.

La buona riuscita delle strategie comunicative sono legate alla consapevolezza che l'apporto personale è centrale nella corretta gestione energetica. Il comportamento è influenzato sia dalle conseguenze sia dagli stimoli che rendono tali conseguenze disponibili, indirizzando in tal modo il comportamento verso un risultato desiderato.

Le **strategie** per incoraggiare comportamenti pro-ambientali possono:

- introdurre o migliorare gli stimoli rendendo disponibili conseguenze piacevoli per i comportamenti pro-ambientali (**INCENTIVI**) o conseguenze spiacevoli per i comportamenti dannosi (**DISINCENTIVI**).
- introdurre nuove conseguenze positive (premi) (**RINFORZO**) per i comportamenti pro-ambientali o conseguenze negative (punizioni) per i comportamenti dannosi per l'ambiente.

2.3.3 Dall'informazione scientifica alla comunicazione scientifica.

L'obiettivo della comunicazione è dunque quello di dare visibilità ad un messaggio affinché questo sia compreso e memorizzato dai destinatari a cui è rivolto. È opinione comune che la "correttezza" del messaggio dal punto di vista scientifico possa essere un criterio sufficiente per comunicare l'informazione, e, di conseguenza, chiaro per gli utenti. Purtroppo la comprensione dei risultati presuppone determinate conoscenze non condivise da tutti gli ascoltatori; infatti, per esempio, i consumi energetici sono difficili da comunicare ad utenti che non sono del settore. Affinché possa avvenire un cambiamento del comportamento è necessario che, per essere recepite e fatte proprie, le informazioni devono attirare l'attenzione. Questo significa che comunicare, ad esempio, i consumi energetici utilizzando la "corretta" unità di misura (kilowattora, *kWh*) non è una strategia vincente in quanto rappresenta una grandezza fisica non familiare a gran parte delle persone. Quindi, è necessario educare gli utenti al significato di queste grandezze fisiche, utilizzando elementari conversioni riferite ad azioni quotidiane, possibilmente comuni alla totalità degli utenti.

In quest'ottica, lo sforzo maggiore deve essere fatto dall'emittente che deve trovare del terreno comune per trasferire le proprie conoscenze, utilizzando mezzi di comunicazione meno settoriali, stili comunicativi meno tecnici e utilizzare rappresentazioni visive (arricchimento del dato scientifico).

Vengono di seguito presi in considerazione alcuni paragoni di tipo energetico che si possono comunicare agli utenti prendendo come riferimento 1 kWh di energia elettrica consumato o 1 kg di CO₂ prodotta (Tabella 15, Tabella 16).

Tabella 15. Esempi di utilizzo di 1kWh di energia

1 kWh	Accende 1 lampadina ad incandescenza per 16 ore e 40 minuti
	Accende 1 lampada alogena per 90 ore e 55 minuti
	Accende un TV al plasma per 2 ore e 52 minuti
	Accende un pc per 12 ore e 40 minuti
	Accende un laptop per 40 ore
	Ricarica un cellulare per 1000 ore
	Accende un bollitore per 20 minuti
	Accende la lavastoviglie per 30 minuti
	Accende un microonde 1 ora e 6 minuti
	Accende una aspirapolvere per 50 minuti

Per quanto riguarda la produzione delle emissioni di anidride carbonica in ambiente si è preso in considerazione il fattore di conversione italiano dell'energia elettrica pari a 505,4 gCO₂/kWh_{el} [17].

Tabella 16. Esempi di emissione di 1 kg di CO₂ prodotta

1 kg di CO₂	Accendere una lampadina ad incandescenza da 60 W per 25 ore (assumendo una produzione di 39 gCO ₂ per ora)
	Accendere un forno a microonde per 2 ore (assumendo una potenza di 700 W e 455 gCO ₂ per ora)
	Tenere acceso un televisore da 28 pollici per 13 ore (assumendo un'emissione di 80 gCO ₂ per ora)
	Tenere acceso un televisore al plasma da 42 pollici per 4,5 ore (assumendo un'emissione di 220 gCO ₂ per ora)
	Spedire 52 e-mail da 1MB (19 gCO ₂ per ogni MB di posta elettronica)
	Usare un pc desktop per 19 ore (assumendo una potenza di 80 W ed un'emissione di 52 gCO ₂ per ora)
	Usare 3 bottiglie di plastica (assumendo che la produzione e lo smaltimento di 1 kg di PET causa un'emissione di 6 kg di CO ₂ e che una bottiglia da 2 litri pesa circa 50 g)
	Mangiare poco più di 1/3 di cheeseburger (la produzione di un cheeseburger intero emette 2,5 kg di CO ₂ !)
	Percorrere 5 km con un'automobile a benzina (supponendo una prestazione di 13 km con 1l)
	Viaggiare in treno per 22 km (assumendo un'emissione di 45 gCO ₂ per km per passeggero)
	Viaggiare in aereo per 2 km (assumendo

un'emissione di 500 gCO₂ per km per passeggero)

Esempi di consigli che possono essere forniti agli utenti per incrementare la loro sensibilità sui temi ambientali sono i seguenti:

- *L'eliminazione di qualsiasi "salvaschermo" (screen saver) disattiva il segnale del monitor e permette un reale risparmio di energia. È diffusa, ma sbagliata, l'idea che i salvaschermo riducano la quantità di energia consumata dai monitor: impostare il computer perché entri automaticamente in modalità sleep o spegnere manualmente i monitor sono strategie di risparmio energetico di gran lunga migliori.*
- *Trasformatori e carica-batteria consumano anche ad apparecchi spenti. Una volta caricato ricordiamoci di staccare il carica-batterie dalla presa: anche quando il cellulare non è in carica continua a funzionare, e a consumare energia.*
- *È buona norma evitare di coprire i ventilconvettori ostacolando il movimento dell'aria: Il calore non si propaga nella stanza lasciandola fredda. Impedire la libera circolazione del flusso di aria condizionata può far crescere lo spreco di energia che può arrivare fino al 40%.*
- *Sapere quanta energia disperdiamo dalla finestra operando una scorretta ventilazione degli ambienti è interessante: nella zona di Bologna, per avere un'ottima qualità l'aria deve essere cambiata per 2 ore circa al giorno ciò equivale a 65Wh al giorno per ogni metro quadrato della tua stanza!*
- *È sempre preferibile privilegiare l'illuminazione naturale perché oltre a ridurre notevolmente i consumi elettrici e il carico termico, migliora la produttività e il benessere!*

2.3.4 Trasformazione dei dati di monitoraggio in conoscenza utile per gli utenti.

Per poter restituire la conoscenza estratta dai dati di monitoraggio in informazioni utili a sensibilizzare gli utenti a una maggiore consapevolezza energetica, questa deve essere dunque opportunamente trasformata ed elaborata.

Una prima elaborazione può essere condotta attraverso la comparazione del consumo di energia elettrica dei diversi casi di studio con i consumi medi italiani.

I dati di energia elettrica dei casi di studio devono quindi essere comparati con i tipici consumi di energia elettrica disponibili a livello italiano rilasciati dall'Agenzia per l'Energia Elettrica e Gas (AEEG) [18] e dall'Istituto Italiano di Statistica (ISTAT) [19]. In particolare i dati a disposizione sono i seguenti:

- il consumo medio di energia elettrica per una famiglia italiana (4 componenti e potenza installata di 3 kW) è stimato da AEEG in 2700 kWh/anno (AEEG, I trimestre 2017) [18]
- il consumo medio di energia elettrica per una famiglia italiana (2 componenti e potenza installata di 3 kW) è stimato da AEEG in 2200 kWh/anno (AEEG, I trimestre 2017) [18];
- la spesa associata a tale consumo identificato da AEEG consiste in 503 €/anno (AEEG, I trimestre 2017) [18];
- il consumo medio annuale di energia elettrica viene identificato da ISTAT in 1200 kWh/pro capite [19].

Quindi per ogni caso di studio, una proiezione del consumo di energia elettrica annuale, pro-capite e della spesa deve essere stimata e comparata agli indicatori medi forniti da AEEG [18] e ISTAT [19]. I coefficienti di conversione da utilizzare alla data odierna sono:

- 0,19 €/kWh_{el} (AEEG; ottobre 2017) [18];
- 505,4 gCO₂/kWh_{el} per la conversione delle emissioni [17].

Sulla base dei risultati ottenuti da questo studio, una rappresentazione grafica che può essere restituita all'utente è quella riportata nella figura seguente (Figura 60):

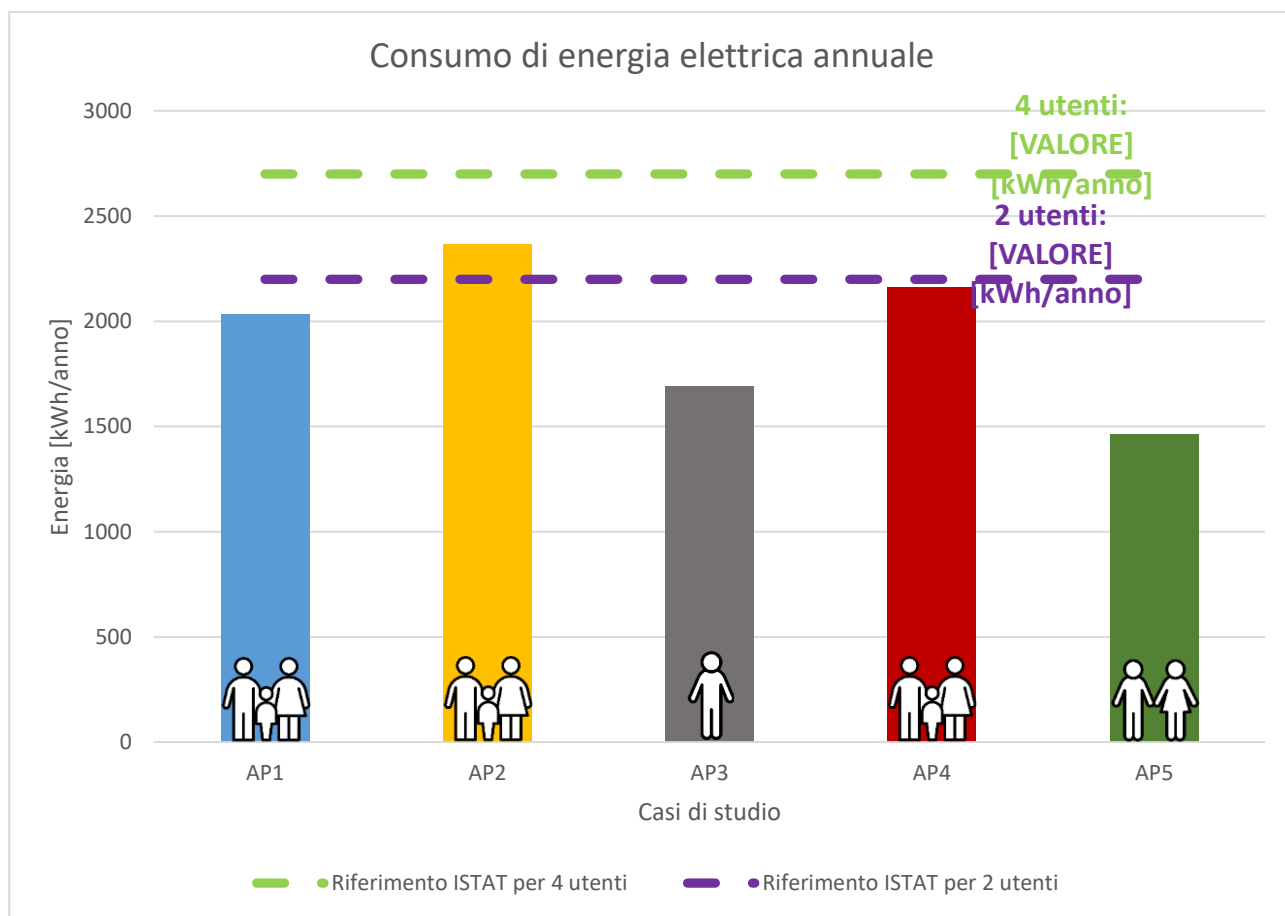


Figura 60. Proiezione annuale del consumo di energia elettrica dei diversi casi di studio.

A partire dal consumo monitorato nel periodo di riferimento, è possibile effettuare una proiezione annuale dei diversi consumi dei casi di studio. In particolare, tali proiezioni sono da confrontare con il dato di consumo medio fornito da AEEG [18] e da ISTAT [19] per evidenziare eventuali comportamenti anomali. Dal grafico in Figura si evidenzia come la proiezione annuale dei diversi casi di studio, sia comparabili al dato fornito da AEEG [18] per la famiglia di 2 persone (2200 kWh/anno). In particolare, l'appartamento pilota n.5, famiglia composta da due persone (AP5) risulta essere al di sotto della media (-33%). Eventuali abitudini e pattern di comportamento dovranno quindi essere investigate tramite interviste e questionari per poter condurre una maggiore e migliore caratterizzazione delle famiglie e una comunicazione dei risultati e delle possibili azioni di risparmio definite “su misura” rispetto alle tipologie di utenza evidenziate.

Tabella 17. Consumo di energia elettrica di una famiglia. Dati AEEG – I Trimestre 2017 [18].

Numero componenti famiglia	Elettrodomestici e apparecchi elettrici	Consumo annuo di energia elettrica [kWh/anno]	Prezzo della bolletta annua [€/anno]
1 persona	TV, computer, frigo, lavatrice, 1 condizionatore	1400	293
2 persone	TV, computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, 1 condizionatore	2000	375
	TV, computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, 2 condizionatori, scaldabagno elettrico	3300	626
4 persone	TV, computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, 2 condizionatori	2700	503

	2 TV, 2 computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, 2 condizionatori, scaldabagno elettrico	5200	998
5 persone	2 TV, 2 computer, frigo, lavastoviglie, lavatrice, 3 condizionatori	3600	688

In Tabella 17 sono riportati i valori di riferimento di consumo annuo di energia elettrica dedotti da AEEG assumendo all'interno degli appartamenti la presenza di alcune apparecchiature. Tra queste è presente anche un impianto di condizionamento che però non risulta installato in nessuno degli appartamenti pilota. Per tale ragione, la differenza di consumo che si evidenzia tra questi valori di riferimento e i consumi dei casi di studio, è imputabile anche all'assenza di questa apparecchiatura.

Accanto all'analisi dei tipici profili di consumo di energia elettrica, dagli studi in letteratura [14] emerge l'utilità di mostrare agli utenti quanta energia hanno utilizzato in una determinata situazione. Le informazioni possono quindi essere definite per ogni tipologia di famiglia (o caso studio) a partire da valori soglia basati sui tipici profili giornalieri o settimanali di consumo di energia elettrica. Le tipologie di consumo caratteristiche per le diverse composizioni familiari, possono essere quindi raggruppate in profili "standard", "sostenibile", "non sostenibile". Per ottenere i diversi raggruppamenti, deve essere considerato come significativo il range di valori positivi e negativi intorno al valore medio. In particolare, può così essere definita un **intervallo di accettabilità**, creato su base giornaliera o settimanale, ad esempio composto da tre diverse fasce, associate a tre colori differenti:

- una fascia corrispondente al consumo medio (fascia gialla)
- una fascia corrispondente al consumo "non sostenibile" (fascia rossa)
- una fascia corrispondente al consumo "sostenibile" (fascia verde).

Per caratterizzare il consumo orario, vengono definiti il limite più alto e più basso intorno alla media aggiungendo o sottraendo la deviazione standard, come nella figura 61 dove si riporta un esempio di elaborazione di intervalli di accettabilità [14].

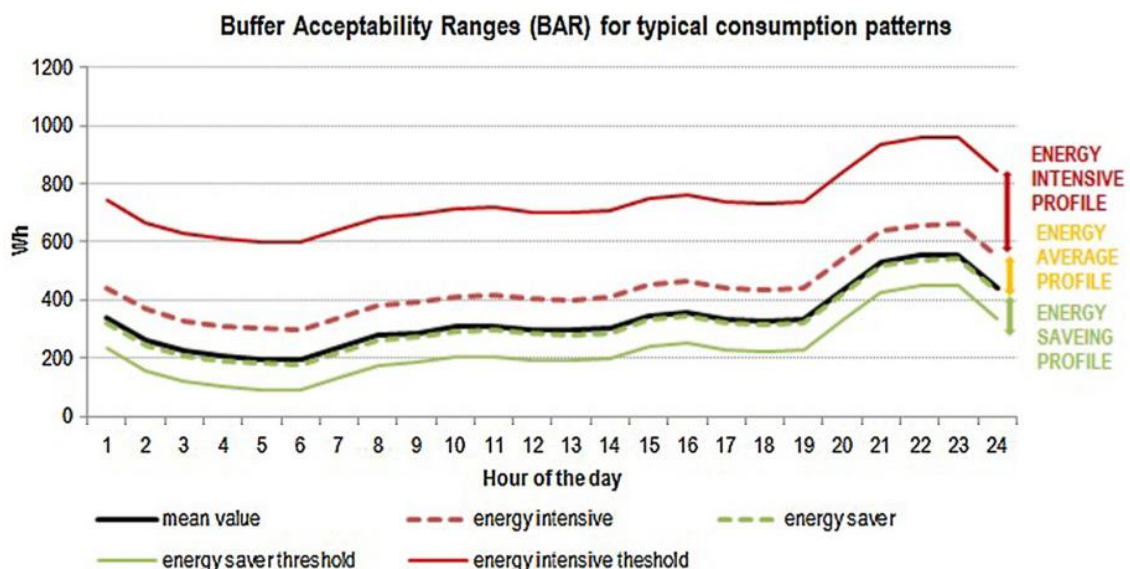


Figura 61. Esempio di rappresentazione grafica di soglie di comportamento [14].

Gli intervalli di accettabilità vengono quindi utilizzati per dare un'indicazione agli utenti di una famiglia specifica sul loro comportamento durante una settimana tipo confrontandoli con il profilo giornaliero di ognuna delle famiglie dei casi di studio. In tal modo, si possono fornire delle informazioni "su misura".

Un'ulteriore elaborazione viene svolta per individuare quante ore al giorno le utenze dei casi di studio rientrano all'interno delle diverse fasce (gialla, rossa o verde), identificandosi quindi in una tipologia di utente "standard", "non sostenibile", "sostenibile".

È dimostrato in alcuni studi di letteratura che lo stimolo del confronto fra pari risulta essere un fattore influenzante per il cambiamento comportamentale. Si pensa infatti che se le famiglie realizzano che viene utilizzata più energia rispetto a famiglie a loro simili, sono più propense a risparmiare energia. Pertanto, alcuni grafici, di facile comprensione devono essere forniti agli utenti per consentire loro di valutare i propri miglioramenti (o peggioramenti), su base settimanale, durante il periodo di monitoraggio e comparare il loro consumo con quello di famiglie similari e spingere un atteggiamento competitivo tra gli utenti in una sorta di "gara energetica" per cercare di spingere verso profili sempre più sostenibili gli utenti dei diversi casi di studio.

Un esempio di raffigurazione di confronto fra pari per stimolare un profilo comportamentale più virtuoso viene proposto nelle figure 62 e 63. Il valore medio del consumo giornaliero di ciascun caso di studio durante i giorni infrasettimanali (Figura 62) e festivi (Figura 63) di una settimana tipica (ottenuta come la media di tutto il periodo) viene comparato al valore di consumo medio giornaliero risultante da tutti e cinque i casi di studio. A partire da tale valore, tramite la deviazione standard, vengono definite le soglie che identificano il comportamento "sostenibile", "non sostenibile", "medio". La caratterizzazione del comportamento avviene dunque sulla base del tempo durante il quale il profilo dei casi di studio ricade all'interno delle diverse soglie.

Il grafico in Figura 62 mostra dunque che gli utenti degli appartamenti pilota n.1 e n.2 (AP1, AP2) risultano avere un comportamento "medio" per l'80% della settimana, mentre per il restante 20% risultano avere un comportamento "non sostenibile". Al contrario, gli utenti degli appartamenti pilota n.3 e n.5 (AP3, AP5) mostrano durante la settimana "medio" (40% e 60% rispettivamente per AP3 e AP5) e "sostenibile" (60% AP3 e 40% AP5). Durante i fine settimana (Figura 63), si accentuano i comportamenti "sostenibili" (AP5) e "non sostenibili" (AP2).

Profilo comportamentale: giorni feriali

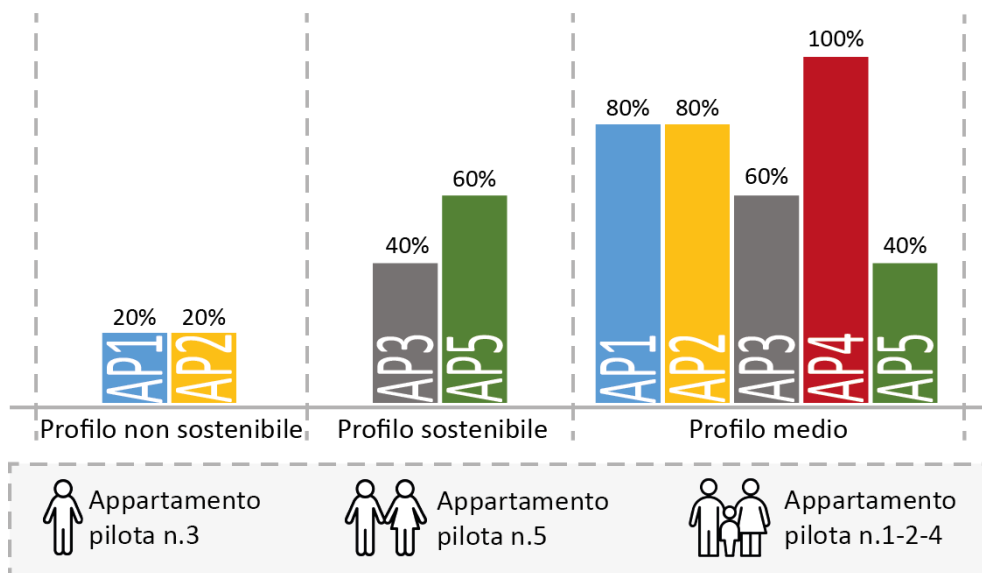


Figura 62. Profilo comportamentale dei diversi casi di studio durante i giorni feriali.

Profilo comportamentale: weekend

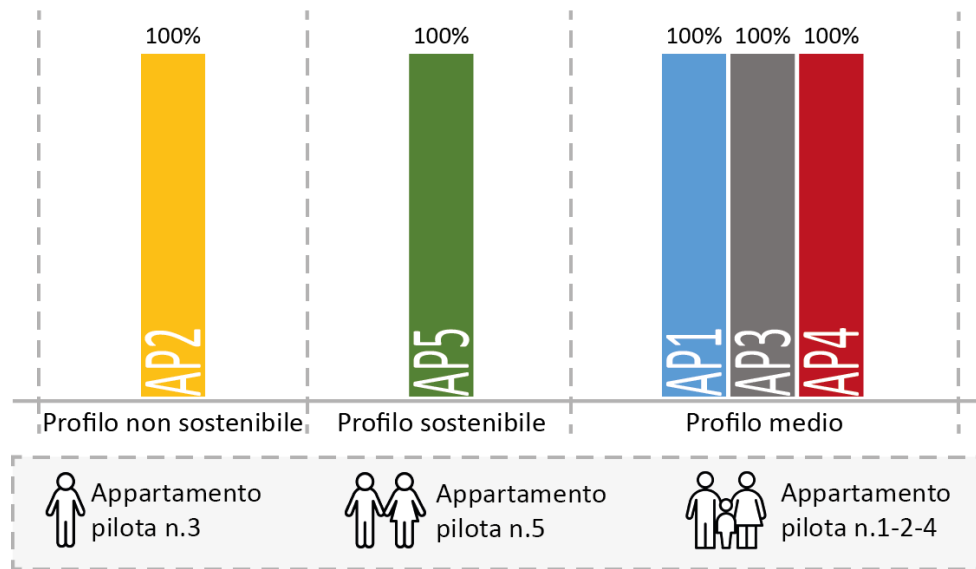


Figura 63. Profilo comportamentale dei diversi casi di studio durante i giorni festivi.

Un ulteriore livello di comunicazione riguarda l'analisi dei carichi flessibili, che possono essere spostati durante la giornata nel periodo in cui si può minimizzare la spesa energetica o massimizzare la produzione dell'impianto fotovoltaico.

Si esaminano quindi i carichi relativi alle apparecchiature elettriche che permettono un ritardo o un anticipo nella loro accensione. In particolare, prendendo in considerazione i casi di studio che fanno parte della sperimentazione, sono stati ritenuti flessibili solo due dei dispositivi monitorati: la lavatrice e la lavastoviglie. Inoltre, lo studio dei carichi flessibili effettuato nei diversi casi di studio non ha riguardato l'ottimizzazione dello sfruttamento dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, in quanto all'interno della sperimentazione si hanno solo casi di intera cessione alla rete della produzione. Si è scelto dunque di evidenziare l'utilizzo dell'energia elettrica nelle fasce orarie relative alla diversa tariffazione.

Di conseguenza, la giornata infrasettimanale è stata suddivisa in 3 fasce orarie:

- Fascia F1: dalle ore 8:00 alle ore 19:00
- Fascia F2: dalle 19:00 alle 23:00 e dalle ore 7:00 alle ore 8:00
- Fascia F3: dalle 24:00 alle 6:00

Non è stato preso in considerazione il fine settimana in quanto le tariffe dell'energia elettrica durante il sabato, domenica e festivi prevedono solo fasce F2 e F3.

I grafici presentati in Figura 64, 65, 66 riportano il consumo medio orario registrato al contatore con l'evidenza delle fasce e la quota di consumo attribuibile ai carichi flessibili.

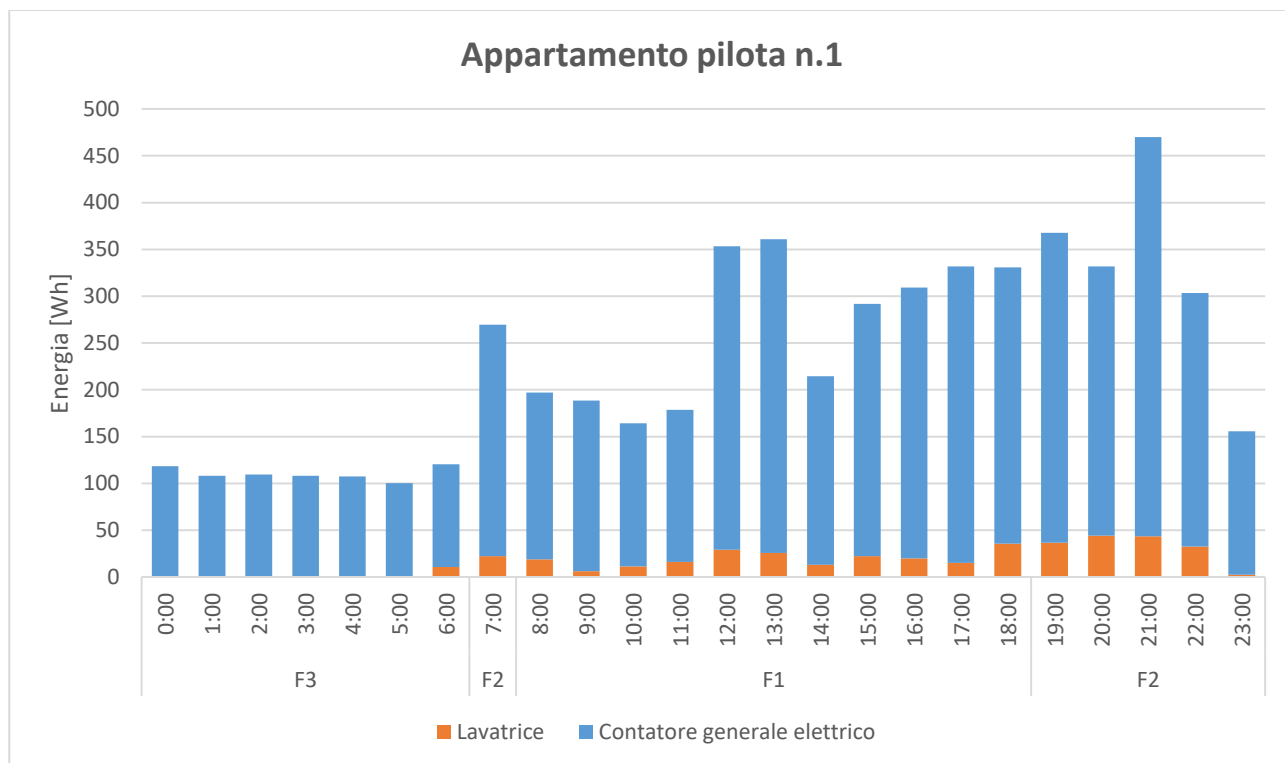


Figura 64. Analisi dei carichi flessibili nell'appartamento pilota n.1

L'unico carico flessibile monitorato all'interno dell'appartamento pilota n.1 è la lavatrice (Figura 64). Dall'analisi del profilo di consumo di energia elettrica si nota un utilizzo di tale dispositivo nelle ore centrali della giornata, in fascia F1 (in particolare tra le ore 12:00 e le ore 13:00 e alle ore 18:00). Dal momento che una parte di questo utilizzo è attribuibile all'uso della lavatrice (l'8% del consumo alle ore 12:00) si può comunicare agli utenti di preferire un impiego di tale dispositivo successivo alle ore 19:00 quando il costo dell'energia è più basso.

All'interno dell'appartamento pilota n.4, invece, sono monitorati due carichi flessibili, la lavatrice e la lavastoviglie. Dallo studio del consumo di energia elettrica dell'appartamento riportato in Figura 65, si nota che gli utenti di questo caso di studio sono già inclini ad utilizzare l'energia elettrica nelle ore serali, in fascia F2. Tuttavia, si può suggerire loro di preferire l'accensione della lavatrice ora avviata prevalentemente tra le 8:00 e le 11:00 e tra le 17:00 e le 19:00, anticipandola alle 7:00 o posticipandola dopo le 19:00.

L'uso della lavastoviglie ha un pattern analogo. Il suo utilizzo al mattino tra le ore 8:00 e le 11:00 potrebbe essere anticipato alle 6:00 o alle 7:00, come già in parte attuato dagli utenti.

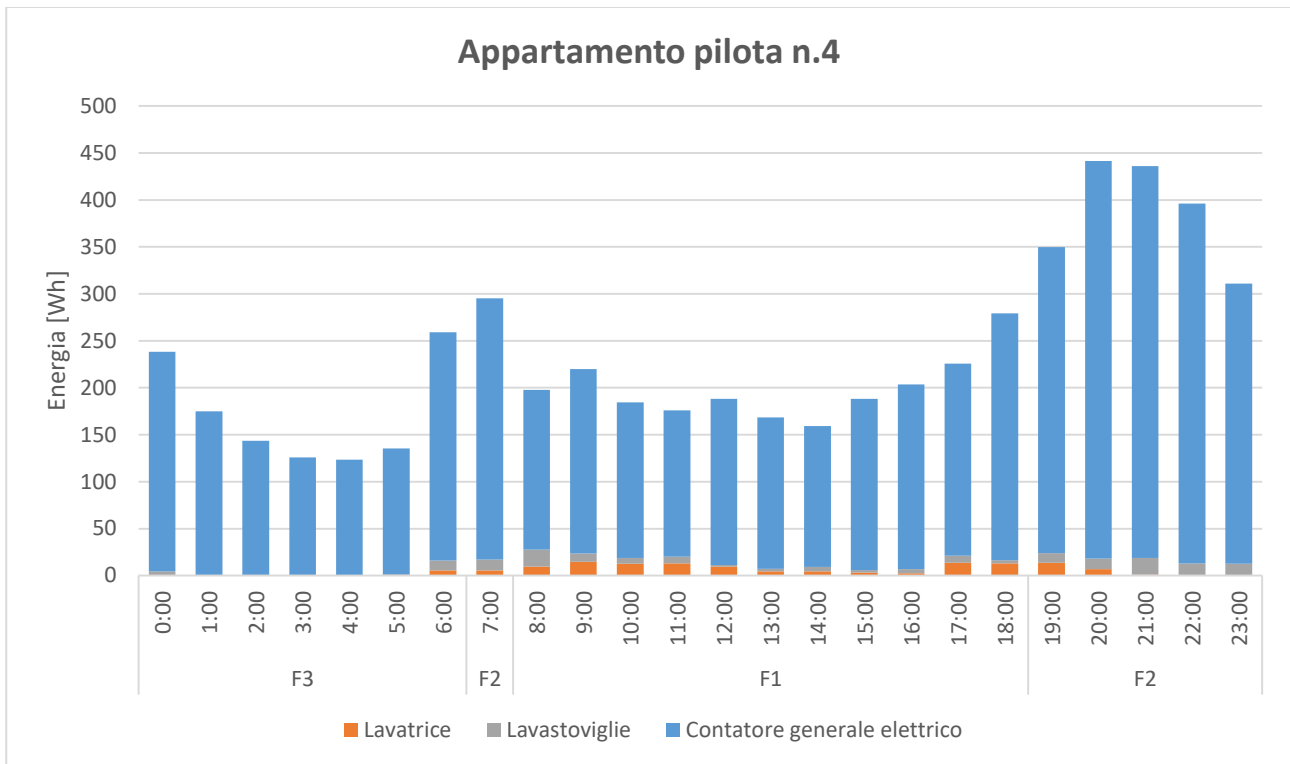


Figura 65. Analisi dei carichi flessibili nell'appartamento pilota n.4.

Il carico flessibile nell'appartamento pilota n.5 è rappresentato dalla lavastoviglie. Analizzando il grafico in Figura 66, si nota come gli utenti utilizzino maggiormente questo dispositivo nelle ore centrali della giornata (arrivando a rappresentare il 42% del carico alle ore 15:00). Pertanto, si può informare loro di posticipare l'avvio alle ore 19:00, prima del secondo lavaggio serale.

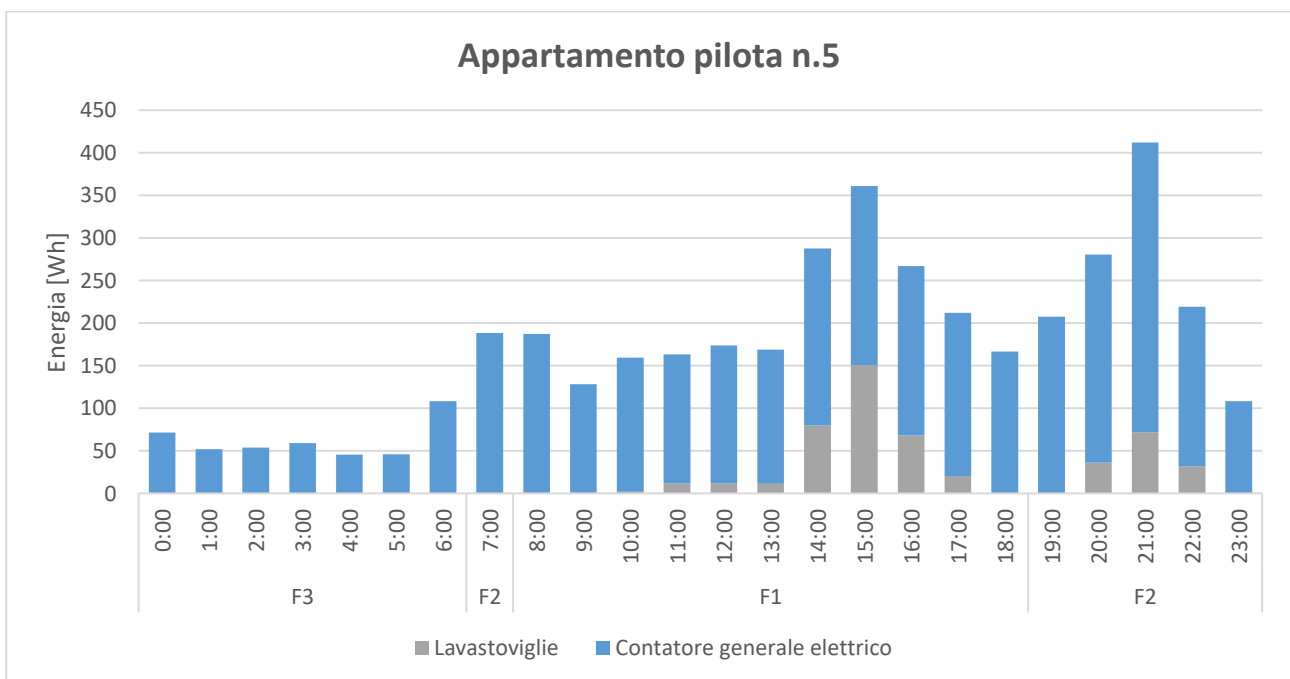


Figura 66. Analisi dei carichi flessibili per l'appartamento pilota n.5.

3 Conclusioni

Lo studio presenta l'analisi e l'elaborazione di dati provenienti dai dati di monitoraggio di 5 appartamenti pilota che sono stati coinvolti nella sperimentazione avviata all'interno del progetto "Sviluppo di un modello integrato di Smart District Urbano". I consumi elettrici totali e i consumi delle singole apparecchiature elettriche sono stati elaborati per estrarre informazioni sui profili energetici, evidenziando comportamenti e pattern d'utilizzo degli utenti. L'analisi statistica ha permesso di caratterizzare i consumi dei diversi casi di studio, mentre l'esame dei profili di carico effettuata per ciascun apparecchio monitorato, ha consentito di estrapolare informazioni sui diversi comportamenti durante le ore della giornata e tra giorni feriali e giorni festivi. Le analisi dei profili di carico sono risultate utili per fare riferimento a possibili implicazioni rispetto al potenziale diagnostico da parte di un aggregatore. Infine, sono stati introdotti metodi e procedure alla base della comunicazione con gli utenti. Le principali strategie di comunicazione sono state evidenziate e sono stati proposti degli esempi di numerici e grafici per trasferire la conoscenza dei risultati agli utenti.

Attività 2.1

In questa attività è stata effettuata un'analisi di statistica descrittiva del campione di dati ottenuto dal monitoraggio. Tendenze e distribuzioni, definite tramite analisi in frequenza e frequenza cumulata, quartili delle distribuzioni di potenza, massimi e minimi hanno permesso dunque di caratterizzare i consumi all'interno dei cinque casi di studio. È stato evidenziato come l'andamento dei consumi all'interno dei cinque casi di studio all'interno della giornata dei giorni feriali e dei giorni festivi non risulti uniforme, distinguendo tra casi di studio dove non si leggono variazioni di utilizzo dell'energia elettrica legate al fine settimana (appartamenti pilota n.1 e n.5), casi di studio dove il consumo aumenta durante il fine settimana (appartamenti pilota n.2 e n.4) e casi di studio dove invece si legge una riduzione nel consumo dei giorni festivi (appartamento pilota n. 3). L'indagine statistica ha inoltre permesso di caratterizzare sulla base dell'energia consumata e le diverse tipologie di utenti che risultano prevalenti in ciascun caso di studio, confrontando internamente il consumo dei diversi appartamenti. Dall'analisi dei consumi specifici pro capite e per m² di superficie emerge che l'appartamento pilota n.5 risulta essere quello più sostenibile. L'appartamento pilota n.3 risulta il caso di studio più energivoro per consumo pro capite, mentre l'appartamento pilota n.2 quello più energivoro per m² di superficie. Infine, i dati di monitoraggio degli apparecchi monitorati all'interno dei diversi casi di studio sono stati elaborati per estrapolare profili di carico elettrico tipologici. L'analisi ha dunque permesso di caratterizzare il profilo medio giornaliero in una settimana, nei soli giorni feriali e nel fine settimana per tutto il periodo di indagine.

Attività 2.2

Questa attività ha previsto lo sviluppo di un processo metodologico mutuato dalla letteratura scientifica esistente al fine di condurre una classificazione degli utenti sulla base della forma e delle caratteristiche del profilo di carico elettrico totale. A tal fine, è stato sviluppato un classificatore sulla base di un data set sviluppato dall'Università Politecnica delle Marche ottenuto dalla simulazione del carico elettrico di 200 edifici residenziali. Il classificatore è stato testato per gli edifici pilota oggetto di studio al fine di individuare a quale cluster di utenza appartenessero i profili di carico di riferimento che li caratterizzavano. Un processo metodologico siffatto, consente all'aggregatore di associare il profilo di carico elettrico di una nuova utenza ad un profilo tipologico, potendone riconoscere caratteri di similarità ma allo stesso tempo anche di dissimilarità al fine di indirizzare ed operare specifiche indagini diagnostiche.

Attività 2.3

Lo studio effettuato in questa attività ha identificato i meccanismi di coinvolgimento degli utenti nel processo di riduzione dei consumi energetici degli occupanti. L'articolazione della comunicazione agli utenti negli edifici pilota, analizzando le varie fasi di preparazione, attività in campo e verifica, è stata definita,

analizzando la tipologia di contenuti, stile comunicativo e strategie da utilizzare. In quest'ottica, stili comunicativi meno tecnici e l'utilizzo di rappresentazioni visive possono risultare utili per una più facile comprensione dei dati a diverse tipologie di utenti. Sono state quindi proposte alcune comparazioni prendendo come riferimento 1 kWh di energia elettrica consumato o 1 kg di CO₂ prodotta. Inoltre, sono state proposte alcune rappresentazioni grafiche per poter restituire le informazioni dei dati di monitoraggio in forme utili a sensibilizzare gli utenti a una maggiore consapevolezza energetica. È stato effettuato tra il consumo dei diversi casi di studio con i consumi medi italiani, utilizzando i dati forniti dalle autorità ufficiali; è stato analizzato il loro profilo comportamentale settimanale rispetto agli altri casi di studio; infine, è stata eseguita l'analisi dei carichi flessibili che possono essere spostati durante la giornata in ottica di demand response, per minimizzare la spesa per l'energia o massimizzare la produzione del fotovoltaico.

4 Riferimenti bibliografici

- [1] Capozzoli A., Piscitelli M.S., Brandi S. (2017), Mining typical load profiles in buildings to support energy management in the smart city context., *Energy Procedia*, Elsevier, ISSN: 1876-6102 Volume 134, October 2017, Pages 865-874.
- [2] G. Comodi and A. Fonti, "Sviluppo di un simulatore rete di edifici residenziali e implementazione preliminare di un modello di smart district," 2016.
- [3] MICENE. Misure dei Consumi di ENergia Elettrica nel settore domestico. Curve di carico dei principali elettrodomestici e degli apparecchi di illuminazione. eERG, end-use Efficiency Research Group. Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano, 2004.
- [4] Chicco G, Napoli R, Piglione F, Postolache P, Scutariu M, Toader C. Emergent electricity customer classification. *IEE Proc Gener Transm Distrib* 2005; 152: 164–172.
- [5] Ramos S, Duarte JM, Duarte FJ, Vale Z. A data-mining-based methodology to support MV electricity customers' characterization. *Energy Build* 2015; 91: 16–25.
- [6] Rhodes JD, Cole WJ, Upshaw CR, Edgar TF, Webber ME. Clustering analysis of residential electricity demand profiles. *Appl Energy* 2014; 135: 461–471.
- [7] Do Carmo CMR, Christensen TH. Cluster analysis of residential heat load profiles and the role of technical and household characteristics. *Energy Build* 2016; 125: 171–180.
- [8] Pang-Ning T, Steinbach M, Kumar V, Introduction to Data Mining 2006, Addison-Wesley.
- [9] Figueiredo V, Rodrigues F, Vale Z, Gouveia JB. An electric energy consumer characterization framework based on data mining techniques. *IEEE Trans Power Syst* 2005; 20: 596–602.
- [10] Kmetty Z. Technical report - D4.1 Load Profile Classification WP4 – Classification of EU residential energy consumers. 2017; 80.
- [11] V. Fabi, R. V. Andersen, S. P. Corgnati, and B. W. Olesen, "Occupants' window opening behaviour: a literature review of factors influencing occupant behaviour and models," *Build. Environ.*, vol. 58, pp. 188–198, 2012.
- [12] M. Schweiker and M. Shukuya, "Comparison of theoretical and statistical models of air-conditioning-unit usage behaviour in a residential setting under Japanese climatic conditions," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 10, pp. 2137–2149, 2009.
- [13] S. P. Corgnati *et al.*, "Total energy use in buildings. Analysis and evaluation methods. Final report Annex 53. Statistical analysis and prediction methods," Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2013.
- [14] S. D'Oca, S. P. Corgnati, and T. Buso, "Smart meters and energy savings in Italy: Determining the effectiveness of persuasive communication in dwellings," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 3, no. C, pp. 131–142, 2014.
- [15] M. Mulville, K. Jones, G. Huebner, and J. Powell-Greig, "Energy-saving occupant behaviours in offices: change strategies," *Build. Res. Inf.*, 2016.
- [16] P. C. Stern, "Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior," *J. Soc. Issues*, vol. 56, no. 3, pp. 407–424, 2000.

[17] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Fattori di emissione atmosferica di CO2 e sviluppo delle fonti rinnovabili nel settore elettrico. Rapporto 212/2015.

[18] Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas e il sistema idrico, AEEG. <https://www.autorita.energia.it/it/index.htm>

[19] Istituto Nazionale di Statistica, ISTAT. <http://www.istat.it/it/>

5 Curriculum vitae degli Autori del Rapporto Tecnico

Alfonso Capozzoli

Alfonso Capozzoli (1979), ingegnere meccanico e dottore di ricerca in ingegneria dei sistemi meccanici, è attualmente ricercatore (con un contratto in “tenure track” per la posizione di professore associato) presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino.

Dal 2014 ha ottenuto l’abilitazione scientifica nazionale alle funzioni di professore universitario di seconda fascia. È docente nei corsi di laurea in Architettura per il progetto sostenibile e in Ingegneria Energetica del Politecnico di Torino.

Dal 2007 al 2012 è stato professore a contratto in fisica tecnica, fisica tecnica ambientale, impianti termotecnici, presso l’Università degli Studi di Napoli Federico II ed il Politecnico di Torino.

Nel Dipartimento di Energia opera nel gruppo di ricerca TEBE ed è autore di circa 80 pubblicazioni scientifiche sugli impianti di climatizzazione, sulla simulazione energetica dinamica della prestazione degli edifici, sulla fisica dell’edificio, sul controllo dell’umidità e sull’applicazione di modelli inversi e tecniche di data analytics per la gestione e la diagnostica energetica degli edifici.

È stato chairman in diverse sessioni tecniche in conferenze internazionali sulla prestazione energetica degli edifici e membro di comitati organizzatori/scientifici. È stato “general chair” della conferenza internazionale SEB 16 (Sustainability in Energy and Buildings) <http://seb-16.sustainedenergy.org/>.

È stato membro del consiglio direttivo della sezione italiana di IBPSA (International Building Performance Simulation Association) ed è attivo in progetti di ricerca sulla prestazione energetica degli edifici finanziati dalla Commissione Europea e in gruppi di ricerca dell’agenzia internazionale dell’energia (IEA). È revisore per prestigiose riviste internazionali nei settori dell’energetica dell’edificio. È responsabile scientifico di diverse convenzioni di ricerca per il Politecnico di Torino.

Stefano Paolo Corgnati

Stefano Paolo Corgnati (01.03.1973), laureato con lode in Ingegneria Meccanica e Dottore di Ricerca in Energetica, è Professore Associato di Fisica Tecnica Ambientale presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino. Svolge attività di docenza nelle discipline della “Fisica tecnica ambientale”, “Fisica dell’edificio” e “Progetto e gestione dei sistemi edificio-impianti”, principalmente nei corsi di studio di architettura e ingegneria edile. Partecipa da anni attivamente al progetto “Erasmus Mundus” Teaching Mobility Program della Comunità Europea, tenendo corsi di approfondimento in particolare presso la Istanbul Technical University, la Danish Technical University, l’Università di Coimbra e la ETSAB di Barcellona. Nel Dipartimento di Energia opera nel gruppo di ricerca TEBE (www.polito.it/tebe) e svolge attività di ricerca nei settori dell’uso razionale dell’energia, delle tecnologie edilizie ed impiantistiche per il condizionamento ambientale, ponendo particolare attenzione alla progettazione degli edifici ad alta prestazione energetica e del comfort climatico degli ambienti confinati.

Fin dallo sviluppo del suo dottorato di ricerca, ha approfondito gli studi nel settore della climatizzazione con pannelli radianti, investigando e proponendo nuovi modelli interpretativi dei meccanismi di scambio termico e l’accoppiamento tra i sistemi radianti e le differenti strategie di ventilazione, conducendo i propri studi in collaborazione con la Aalborg University (DK). Autore di oltre duecentocinquanta pubblicazioni a carattere scientifico, didattico e divulgativo, è stato co-autore della REHVA Guidebook “Indoor Climate Quality Assessment”. Per le sue ricerche, nel 2009 è stato vincitore del premio REHVA “Young Scientist Award”. Nel 2011 è inoltre stato nominato “REHVA Fellow”. È stato ed è impegnato in numerosi progetti europei (Polycity, DATAMINE, TABULA, BECA, ENERSCAPE, NearlyZeroEnergyHotel) inerenti le prestazioni energetiche degli edifici esistenti e di nuova costruzione. Ha partecipato al progetto italiano di rilevante interesse nazionale PRIN2003 relativo alla certificazione energetica degli edifici e PRIN2006 relativo alla certificazione della qualità ambientale indoor. È stato parte del pool di esperti della CE per il progetto ManagEnergy. Dal 2016, ha assunto la carica di Presidente REHVA per il mandato 2016-2019.

Valentina Fabi

Valentina Fabi, architetto, ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in Innovazione Tecnologica per l'Ambiente Costruito nel 2013 presso il Politecnico di Torino. I suoi studi si sono concentrati sul tema del comfort ambientale già durante la laurea magistrale, sviluppando una tesi di laurea legata alla misurazione e relativa elaborazione dei dati della qualità microclimatica degli spazi costruiti. Con la tesi di dottorato ha approfondito il tema del comfort legato agli utenti, identificando una metodologia di sviluppo di modelli previsionali comportamentali ed energetici; acquisendo inoltre competenze multidisciplinari legate al campo della tecnologia di comunicazione e del coinvolgimento degli utenti in programmi di sostenibilità ambientale. Attualmente lavora come ricercatrice a contratto presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino, dove si occupa di valutazioni energetiche ed ambientali legate al comportamento degli utenti degli spazi costruiti.

Maria Valentina Di Nicoli

Maria Valentina Di Nicoli (12.02.1992) ottiene, con lode, il titolo di dottore magistrale in Architettura Costruzione Città (Politecnico di Torino, dicembre 2016), con una tesi sull'individuazione della probabilità di retrofit comportamentale degli utenti attraverso lo studio di alcune variabili socio-economiche e successiva applicazione al caso studio di Torino. Da marzo 2017 a novembre 2017 è stata borsista di ricerca presso il dipartimento di Energia del Politecnico di Torino sul tema "Valutazione dell'impatto dei comportamenti degli utenti e dei cittadini nella transazione energetica". Da novembre è dottoranda di ricerca in "Urban and Regional Development" presso il Politecnico di Torino.

Marco Savino Piscitelli

Marco Savino Piscitelli (1990), si laurea in Ingegneria Edile presso il Politecnico di Bari nel novembre 2012 e consegue il titolo di dottore magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi, con lode, presso il Politecnico di Torino nel dicembre 2014. Dal 2015 al 2016 è borsista di ricerca presso il dipartimento Energia del Politecnico di Torino sul tema inerente le potenzialità dell'analisi diagnostica sulla prestazione energetica in esercizio degli edifici. Da novembre 2016 è dottorando di ricerca in Energetica presso il medesimo istituto occupandosi di tematiche legate alla gestione energetica degli edifici attraverso l'applicazione di tecniche di analisi dati afferenti al "Machine Learning" e "Data Mining".

Giorgia Spigliantini

Giorgia Spigliantini, classe 1991, si laurea con lode in Architettura presso il Politecnico di Torino (2013). Presso la medesima università consegue, con lode, il titolo di dottore magistrale in Architettura Costruzione Città (2015), con una tesi sull'applicazione della cost-optimal analysis ad un progetto di retrofit di un edificio rurale piemontese. Da febbraio 2016 è borsista di ricerca presso il dipartimento di Energia del Politecnico di Torino sul tema "Effetto del comportamento degli utenti sui consumi di edifici a energia zero". È stata di recente ammessa nella scuola di dottorato in "Beni architettonici e paesaggistici" presso il Politecnico di Torino.