Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Studio di un modello di qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici di edifici residenziali

L de Santoli, F. Mancini, M. Cecconi

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Report RdS/PAR2017/051

STUDIO DI UN MODELLO DI QUALIFICAZIONE E VALIDAZIONE DEI CONSUMI ELETTRICI E TERMICI DI EDIFICI RESIDENZIALI

L. de Santoli, F. Mancini, M. Cecconi
C.I.T.E.R.A - Centro di Ricerca Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente
Sapienza Università di Roma

Settembre 2018

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 "Studio di un modello di qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici di edifici residenziali".
Responsabile scientifico ENEA: Arch. Sabrina Romano
Responsabile scientifico C.I.T.E.R.A (Sapienza): Proff. Livio de Santoli e Francesco Mancini

Indice

1 SOMMARIO 5

2 INTRODUZIONE 6

3 RACCOLTA DI QUESTIONARI PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE UTENZE RESIDENZIALI 7

3.1 GENERALITÀ 7
3.2 RISCALDAMENTO ABITAZIONE 11
3.3 RAFFRESCAMENTO ABITAZIONE 13
3.4 PREPARAZIONE ACQUA CALDA SANITARIA 14
3.5 CUCINA 15
3.6 REFRIGERAZIONE 18
3.7 LAVAGGIO 18
3.8 PULIZIA E STIRATURA 20
3.9 ILLUMINAZIONE 21
3.10 POSTAZIONI AUDIO-VIDEO 22
3.11 COMPUTER - INTERNET 23
3.12 CURA DELLA PERSONA 24
3.13 ALTRI APPARECCHI 25
3.14 CONSIDERAZIONI DI RIEPILOGO 26
3.15 CALCOLO DEI CONSUMI CONNESSI AGLI INPUT CONGELATI 28

4 ANALISI DI SENSIBILITÀ DEI DATI DI INPUT 29

4.1 SENSIBILITÀ DEI CONSUMI DI RISCALDAMENTO AI DATI DI INPUT 29
4.1.1 Variazione della temperatura esterna 29
4.1.2 Variazione della temperatura interna 31
4.1.3 Efficientamento dell'impianto di riscaldamento 32
4.2 SENSIBILITÀ DEI CONSUMI DI RAFFRESCAMENTO AI DATI DI INPUT 34
4.3 EFFETTO DI INTERVENTI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA SULL'INVOLUCRO EDILIZIO 39
4.4 SOSTITUZIONE DEL GENERATORE PER LA PREPARAZIONE DELL'ACQUA CALDA SANITARIA 43
4.5 SOSTITUZIONE DEI GRANDI ELETTRODOMESTICI 45
4.6 ILLUMINAZIONE 49
4.7 DIVERSO UTILIZZO DELL'ABITAZIONE 53
4.8 RISPARMI ENERGETICI OTTENIBILI GRAZIE AD UN KIT DI AUTOMAZIONE 54
4.9 CONSIDERAZIONI DI RIEPILOGO 55

5 QUALIFICAZIONE E VALIDAZIONE DEI CONSUMI ELETTRICI E TERMICI 66

5.1 RACCOLTA DELLE INFORMAZIONI RELATIVE ALL'ABITAZIONE ED AI SUOI USI ENERGETICI 66
5.2 INSERIMENTO DEL CASO SPECIFICO NEL DATABASE E ANALISI COMPARATIVA CON GLI ALTRI CASI 66
5.3 DEFINIZIONE DELLE STRATEGIE DI INTERVENTO 67
5.4 DEFINIZIONE DEI LIVELLI MINIMI DI MISURAZIONE 67
5.4.1 Consumi energetici di riscaldamento 68
5.4.2 Consumi energetici di raffrescamento 70
5.4.2.1 Impianti al servizio dell'intera abitazione 70
5.4.2.2 Impianti al servizio solo di alcuni ambienti 71
5.4.3 Consumi energetici per la preparazione dell'acqua calda sanitaria 71
5.4.4 Consumi energetici per lavaggio 71
5.4.5 Consumi energetici della cucina 72
5.4.6 Consumi energetici per illuminazione 72
5.4.7 Altri consumi energetici 73
5.4.8 Considerazioni riepilogative 73
5.5 DEFINIZIONE DELLO SCHEMA DI CONTRATTO 74

6 CONCLUSIONI 75

7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 76

APPENDICE: CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO IMPEGNATO NELL'ATTIVITÀ 77

PROF. LIVIO DE SANTOLI 77
ING. FRANCESCO MANCINI 77
ING. MARCO CECCONI 77

1 Sommario

L'obiettivo di questo lavoro è la predisposizione di una procedura per la qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici di edifici residenziali.

Tale procedura si rende necessaria per la gestione dei rapporti tra un ipotetico aggregatore ed il cliente finale, rappresentato in questo caso da un'utenza di tipo residenziale.

Utilizzando il foglio di calcolo predisposto nel corso della precedente annualità di ricerca, sono state raccolte informazioni riguardanti le dotazioni e le abitudini di consumo di 375 di utenze residenziali.

Sulla base delle informazioni raccolte sono state effettuate delle elaborazioni volte a valutare l'incidenza dei singoli servizi sui consumi di energia primaria dell'abitazione e la propensione dell'utente a fornire le informazioni richieste. Ciò ha consentito di individuare quali sono i servizi più importanti e quali sono i servizi marginali, per i quali i consumi possono essere ipotizzati pari ad un valore medio statistico, senza chiedere informazioni all'utente.

Successivamente sono stati elaborati degli scenari alternativi, allo scopo di valutare la sensibilità dei consumi energetici alla variazione dei dati di input; in particolare sono stati valutati gli effetti di interventi di riqualificazione energetica, di differenti valori della temperatura esterna, di diverse modalità di occupazione dell'abitazione, di una variazione della dotazione impiantistica.
Sulla base delle risultanze delle analisi effettuate è stata definita una procedura per la qualificazione dei consumi energetici di un'utenza residenziale, definendone i tratti essenziali e definendo la dotazione minima di uno smart home necessario all'attività dell'aggregatore.

Oltre alla riformulazione del foglio di calcolo in forma sintetica, con eliminazione degli input relativi ai servizi marginali, rimane da investigare la funzionalità della procedura su casi reali, a seguito dell'installazione di uno smart home.

2 Introduzione

Il Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA hanno stipulato in data 21 dicembre 2016 un Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale.
Il presente lavoro si riferisce al Piano Annuale di Realizzazione 2016, per quanto attiene all'Area "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori energetici", tema di ricerca "Smart Cities & Communities"; nello specifico, si riferisce all'obiettivo "b. Sistemi e servizi smart per edifici" del progetto "Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano".

I temi sviluppati nell'ambito del presente accordo di collaborazione tra ENEA e il Centro di Ricerca Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente - C.I.T.E.R.A. della Sapienza Università di Roma riguardano lo studio di un modello di qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici di edifici residenziali.

In particolare, l'attività di ricerca relativa a questa annualità vuole completare la caratterizzazione delle utenze residenziali, arrivando ad una definizione più completa del loro potenziale di aggregabilità.

Per lo svolgimento delle proprie funzioni, un aggregatore di utenze residenziali deve installare presso l'utente sensori e attuatori volti a rendere automatiche le operazioni di gestione energetica delle utenze; presso l'utente potrà anche prevedere la realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione dei consumi elettrici e termici, mediante una riqualificazione energetica o una variazione della dotazione tecnologica dell'abitazione.
Al fine di indirizzare correttamente le scelte dell'aggregatore e dell'utente è necessaria un'operazione volta ad una valutazione condivisa del risparmio energetico ed economico conseguente alle installazioni e agli interventi effettuati.
Tale operazione si rende necessaria al fine di valutare il risparmio energetico ed economico effettivamente correlato alle attività di miglioramento realizzate e consentirà di introdurre parametri capaci di neutralizzare gli effetti sui consumi e sui costi di fattori quali ad esempio il particolare andamento climatico di una stagione, una variazione delle modalità di utilizzo dell'abitazione, un diverso utilizzo degli impianti, una diminuzione del comfort ambientale dell'utente, una variazione della dotazione tecnologica o una riqualificazione energetica.

3 Raccolta di questionari per la caratterizzazione delle utenze residenziali

3.1 Generalità

La prima parte del lavoro ha avuto come obiettivo la raccolta di un elevato numero di questionari, per la caratterizzazione delle utenze residenziali, con l'intenzione di arrivare ad un database sufficientemente ampio per effettuare analisi statistiche sui dati.
È stato effettuato un esame dei questionari per valutare la propensione degli utenti a fornire le informazioni richieste e l'affidabilità delle informazioni fornite, riscontrando, in generale, una buona disponibilità a fornire dati, sia pure nella difficoltà, comune a molti degli intervistati, a reperire le informazioni necessarie sulle bollette di fornitura dell'energia elettrica e del gas.

Sono stati raccolti 375 questionari.
La dimensione media delle abitazioni considerate è pari a 113.2 m^2, con un numero di occupanti medio pari a 3.2. Maggiormente ricorrenti sono le abitazioni che hanno 4 occupanti (38.4%), 3 occupanti (25.1%) e 2 occupanti (21.1%); meno ricorrenti abitazioni con un numero inferiore o superiore di occupanti.
I grafici di Figura 3.1 e Figura 3.2 riportano in dettaglio superfici e occupanti per le abitazioni considerate.

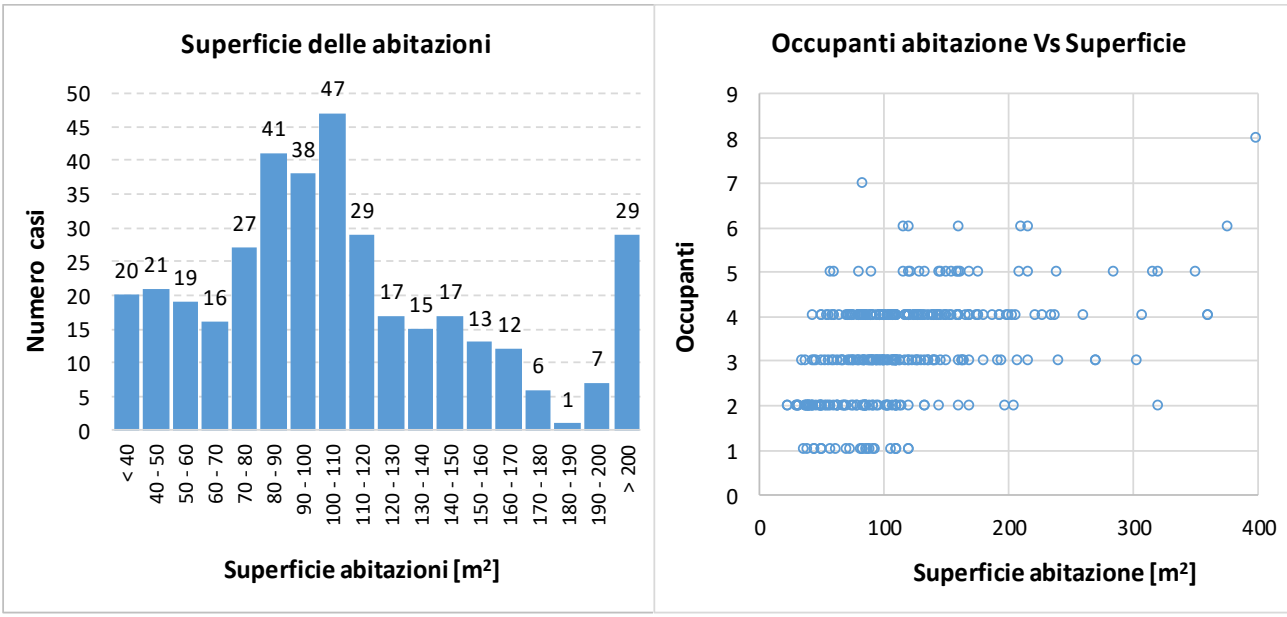


Figura 3.1 – Superficie delle abitazioni considerate e occupanti.

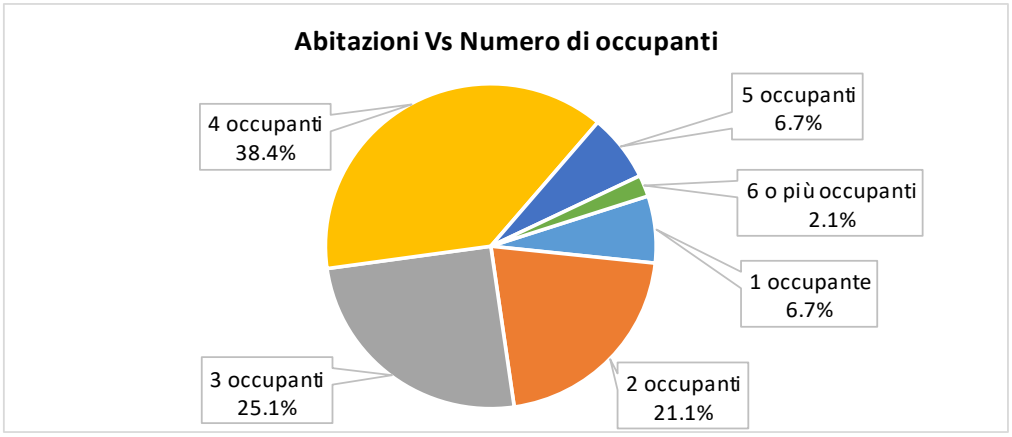


Figura 3.2 – Abitazioni e numero di occupanti.

I grafici di Figura 3.3 riportano un dettaglio del periodo di costruzione e dei gradi giorno delle località per le abitazioni considerate; molte delle abitazioni considerate sono collocate a Roma.

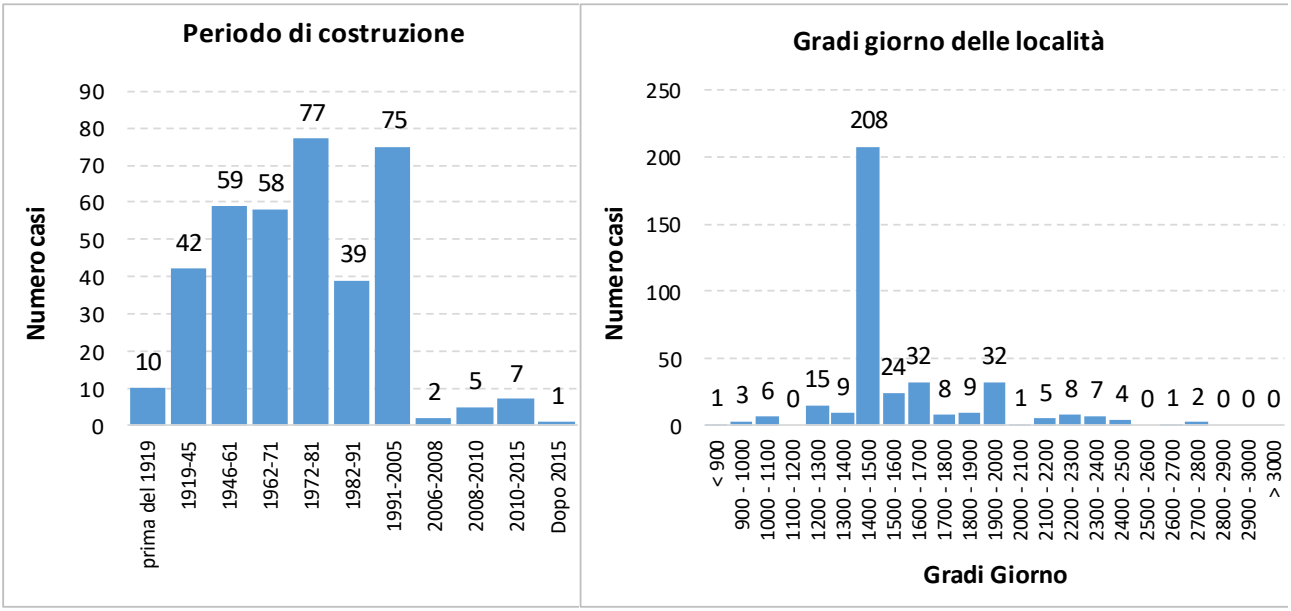


Figura 3.3 – Periodo di costruzione e gradi giorno delle località per le abitazioni considerate.

È stata effettuata una prima valutazione volta a caratterizzare parametricamente i consumi di energia primaria delle abitazioni, rapportando i consumi di energia primaria alla superficie dell'abitazione ed al numero di occupanti.
Mediamente si hanno consumi di energia primaria per unità di superficie pari a 165 kWh/(m^2*anno), oscillando tra un valore minimo di 46 kWh/(m^2*anno) ed un valore massimo di 403 kWh/(m^2*anno).
Il grafico di Figura 3.4 riporta i consumi di energia primaria per unità di superficie per le abitazioni considerate.

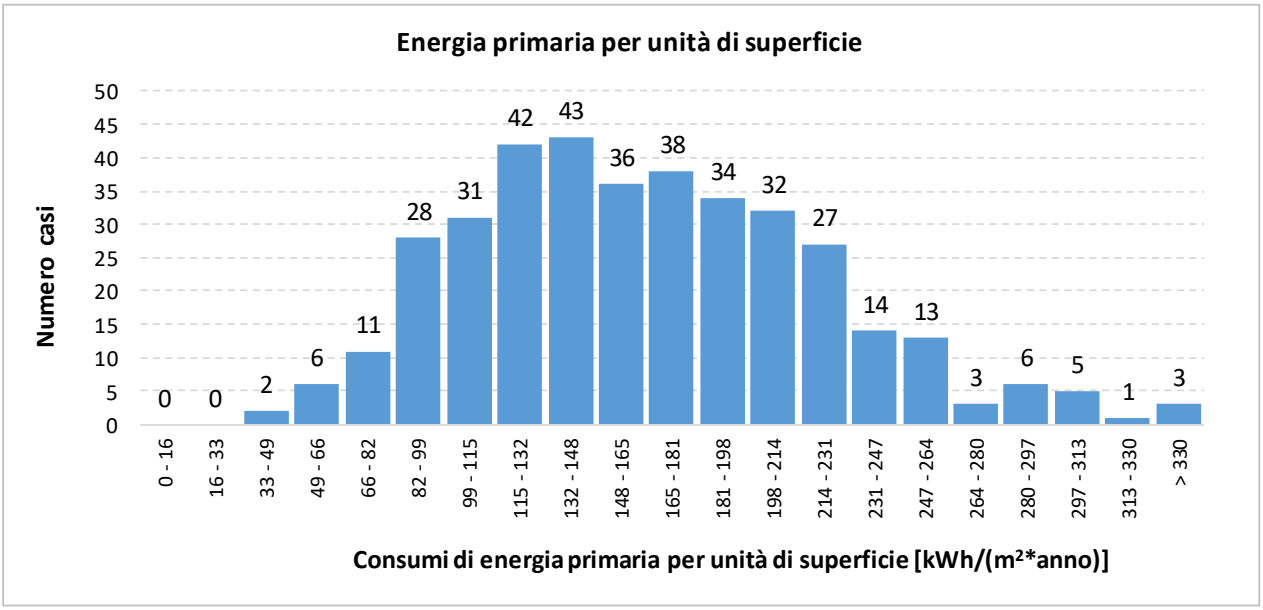


Figura 3.4 – Energia primaria per unità di superficie per le abitazioni considerate.

Con riferimento al numero di occupanti, mediamente si hanno consumi di energia primaria pro-capite pari a 5,608 kWh/(persona*anno), oscillando tra un valore minimo di 1,964 kWh/(persona*anno) ed un valore massimo di 17,697 kWh/(persona*anno).

Il grafico di Figura 3.5 riporta i consumi di energia primaria pro-capite per le abitazioni considerate.

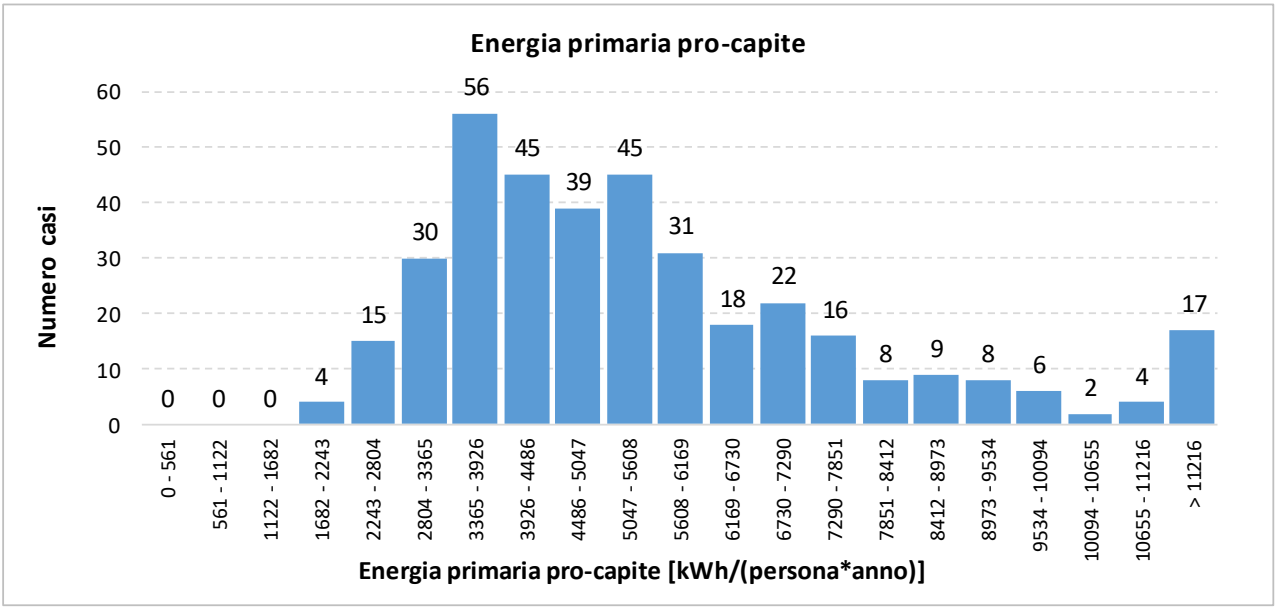


Figura 3.5 – Energia primaria pro-capite per le abitazioni considerate.

Il grado di elettrificazione delle abitazioni è mediamente pari al 36.4%, risultando leggermente superiore al valore medio delle abitazioni italiane (32.1%, cfr. report annualità 2016) ed oscillando tra un valore minimo del 13.9% ed un valore massimo del 100.0%.

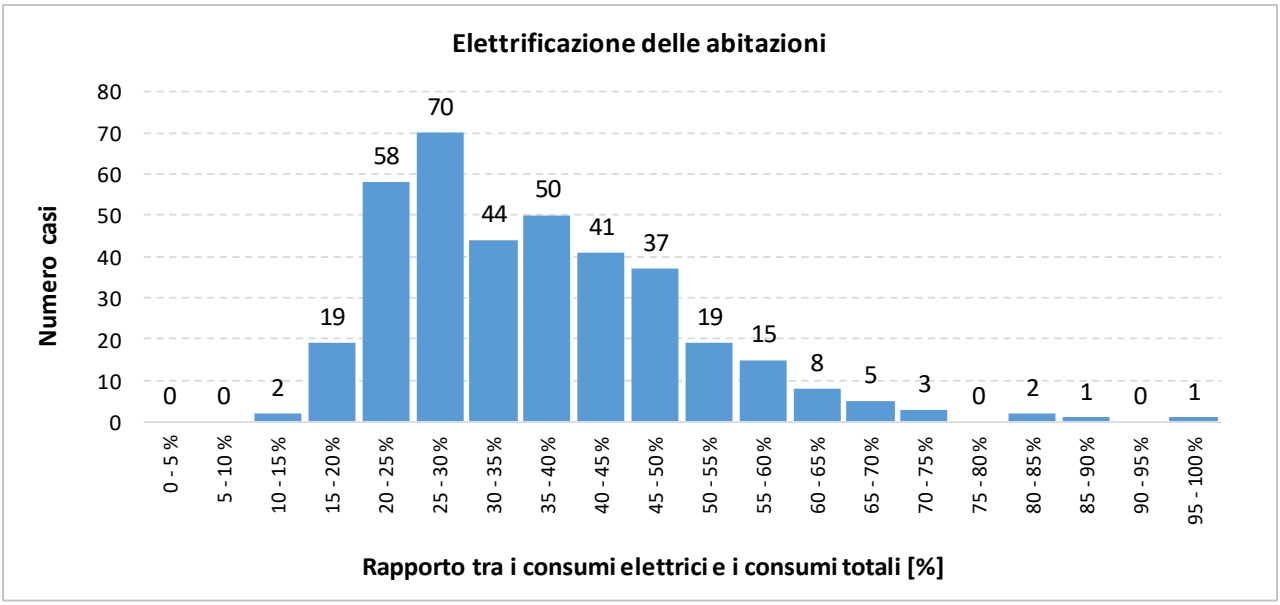


Figura 3.6 – Energia primaria pro-capite per le abitazioni considerate.

I questionari raccolti hanno anche la funzione di verificare preliminarmente il potenziale di aggregabilità di una generica utenza, caratterizzando i carichi in funzione della loro natura, così come rappresentato in Figura 3.7.

Autogenerazione	Mix di carico			
	Carichi non accumulabili			Carichi accumulabili
	Carichi non differibili		Carichi differibili	
	Carichi di base	Carichi interrompibili		
Fotovoltaico, micro-CHP micro-eolico imp. a biomassa ecc.	Antifurto, TV, automazione, illuminazione, ecc.	PC, TV, illuminazione, strumenti multifunzione, ecc.	Lavatrici, asciugatrici, lavastoviglie, apirapolvere, ecc.	Produzione ACS, accumuli elettrochimici, riscaldamento, raffrescamento, veicoli elettrici, ecc.

Figura 3.7 – Mix di carico generico.

I carichi elettrici accumulabili risultano mediamente pari a 377 kWh/abitazione, con un'incidenza media del 13.3% sui consumi elettrici complessivi; i carichi elettrici differibili risultano mediamente pari a 645 kWh/abitazione, con un'incidenza media del 26.6% sui consumi elettrici complessivi.

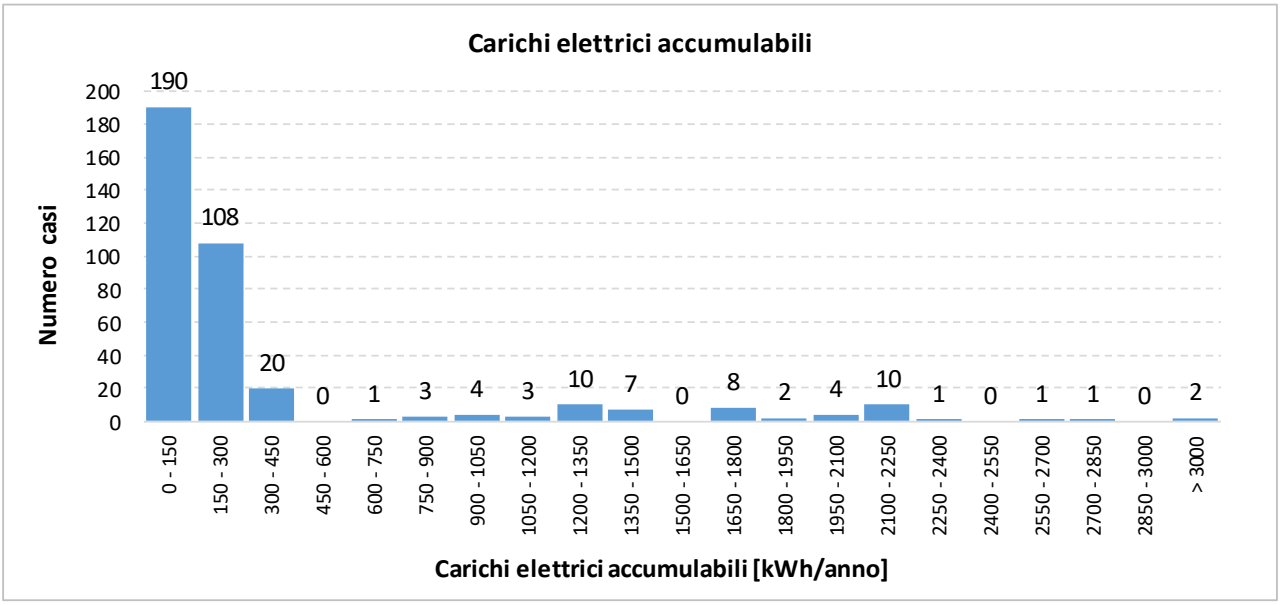


Figura 3.8 – Carichi elettrici accumulabili per le abitazioni considerate.

Le abitazioni che hanno carichi accumulabili significativi (> 700 kWh/anno) sono quelle nelle quali l'acqua calda sanitaria è ottenuta grazie ad uno scaldabagno alimentato elettricamente o quelle nelle quali anche il riscaldamento è elettrico; nelle altre abitazioni il principale carico accumulabile è rappresentato dal raffrescamento estivo.

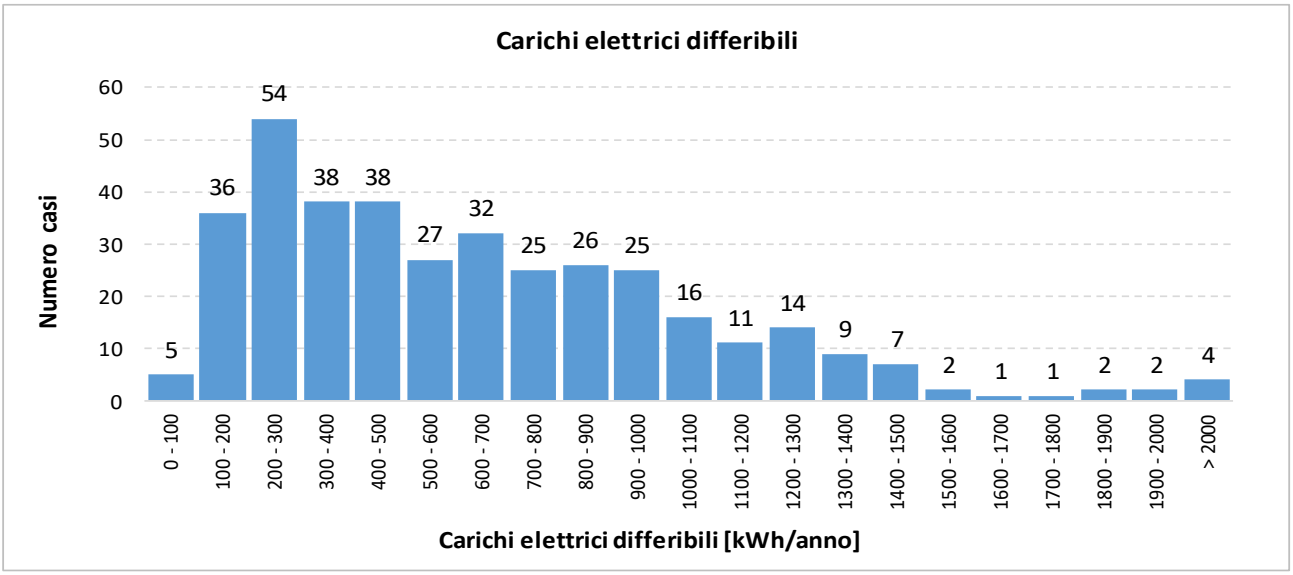


Figura 3.9 – Carichi elettrici differibili per le abitazioni considerate.

Si è poi proceduto ad una valutazione dell'incidenza sui consumi di energia primaria dei dati di input forniti, con l'intenzione di arrivare eventualmente al congelamento o alla standardizzazione di input poco variabili o comunque poco influenti sui risultati.

Ricalcando la struttura del foglio di calcolo, sono stati considerati i seguenti servizi:

1. riscaldamento dell'abitazione;
2. raffrescamento dell'abitazione;
3. preparazione dell'acqua calda sanitaria;
4. cucina (preparazione dei cibi);
5. refrigerazione e congelazione alimenti;
6. lavaggio (lavaggio biancheria, asciugatura biancheria, lavaggio stoviglie);
7. pulizia casa e stiratura;
8. illuminazione;
9. postazioni audio-video (intrattenimento);
10. postazioni PC;
11. cura della persona;
12. altri apparecchi (non espressamente elencati).

3.2 Riscaldamento abitazione

Il foglio di calcolo consente di inserire in forma sintetica gli input necessari al calcolo dei consumi di energia per il riscaldamento, quali l'ubicazione e l'utilizzo dell'abitazione, le sue caratteristiche architettoniche e fisico-tecniche, eventuali lavori di riqualificazione, gli impianti tecnologici e le dotazioni tutte.
In generale, il servizio di riscaldamento delle abitazioni può essere alimentato in modo diverso attraverso sistemi a combustione o con energia elettrica.
Nel questionario proposto agli utenti, sono stati considerati solo impianti di riscaldamento alimentati a gas o a energia elettrica, avendo escluso, in questa prima versione del foglio di calcolo, gli impianti alimentati a biomassa, in ragione della natura "in isola" di questi impianti e del basso potenziale di aggregabilità da essi rappresentato.
Relativamente all'impianto di riscaldamento (Figura 3.10) è prevista la scelta tra impianti centralizzati e autonomi, con generatori di calore di tipo diverso (caldaia a gas naturale tradizionale, caldaia a gas naturale a condensazione; pompa di calore elettrica); per le pompe di calore elettriche è possibile indicare la classe energetica in riscaldamento.

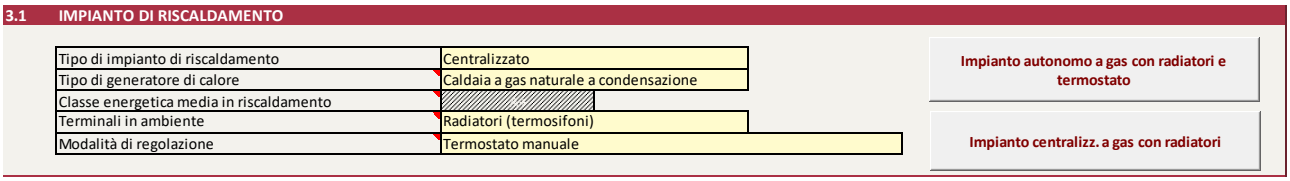


Figura 3.10 – Impianto di riscaldamento.

Sulla base dei questionari raccolti, in tutte le abitazioni considerate è presente l'impianto di riscaldamento, con una netta prevalenza degli impianti autonomi (72.5%), rispetto agli impianti centralizzati (27.5%) e degli impianti alimentati a gas (98.7%), rispetto agli impianti alimentati elettricamente (1.3%).

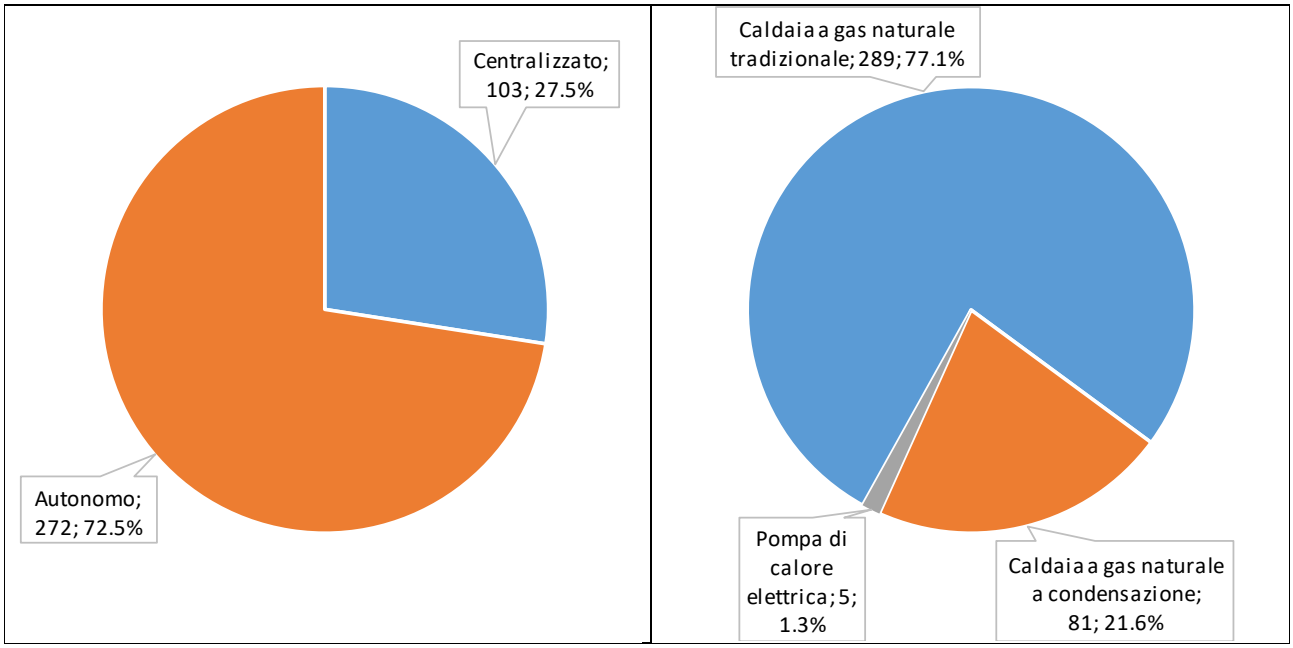


Figura 3.11 – Impianti di riscaldamento nelle abitazioni considerate [tipologia, numero, percentuale].

L'incidenza media dei consumi di riscaldamento sui consumi di energia primaria è pari al 43.6%, oscillando tra un valore minimo dell'8.0% ed un valore massimo del 75.1%. Il grafico della Figura 3.12 riporta un riepilogo dei casi considerati.

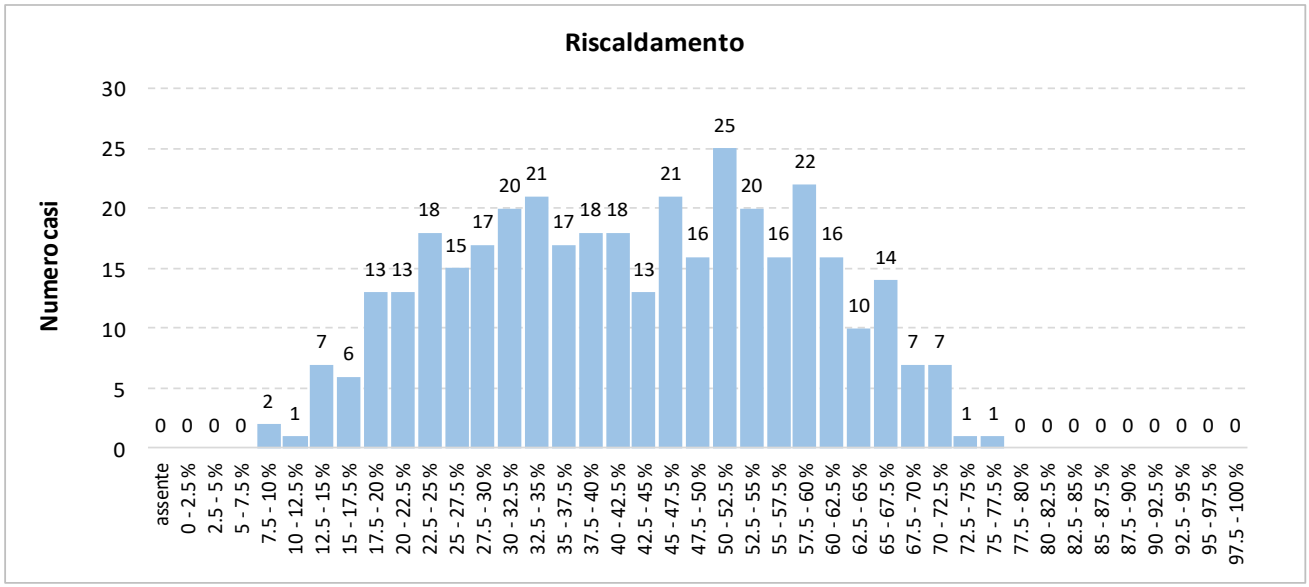


Figura 3.12 – Incidenza dei consumi per riscaldamento sui consumi di energia primaria.

3.3 Raffrescamento abitazione

Il foglio di calcolo consente di inserire in forma sintetica gli input necessari al calcolo dei consumi di energia per il raffrescamento, quali l'ubicazione e l'utilizzo dell'abitazione, le sue caratteristiche architettoniche e fisico-tecniche, eventuali lavori di riqualificazione, gli impianti tecnologici e le dotazioni tutte.
Nel questionario proposto agli utenti, sono state assimilate a "impianto di raffrescamento" (Figura 3.13) tutte le apparecchiature impiegate ai fini del comfort termoigrometrico nella stagione estiva.
Per i condizionatori elettrici è necessario indicare la classe energetica in raffrescamento e il numero di stanze climatizzate; per gli altri apparecchi è richiesto di indicare la quantità e le ore di uso giornaliero.

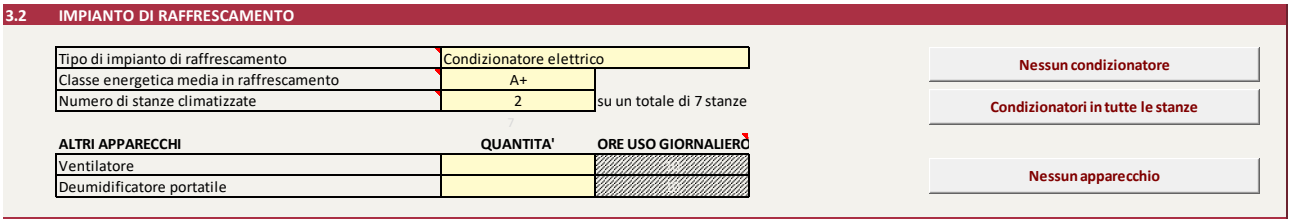


Figura 3.13 – Impianto di raffrescamento.

Tra le abitazioni considerate, solo 257 (68.5%) sono dotate di apparecchiature utili al raffrescamento nella stagione estiva; le restanti 118 (31.5%) ne sono prive.
In particolare, in 183 abitazioni è presente almeno un condizionatore elettrico fisso, in 110 abitazioni è presente almeno un ventilatore e in 14 abitazioni è presente almeno un deumidificatore portatile; nelle abitazioni ove è presente un condizionatore elettrico fisso il numero medio di stanze climatizzate è pari a 2.9.

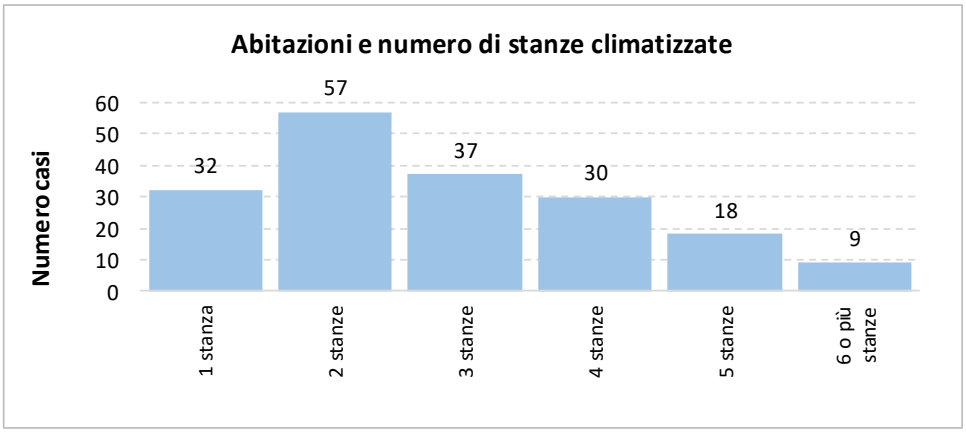
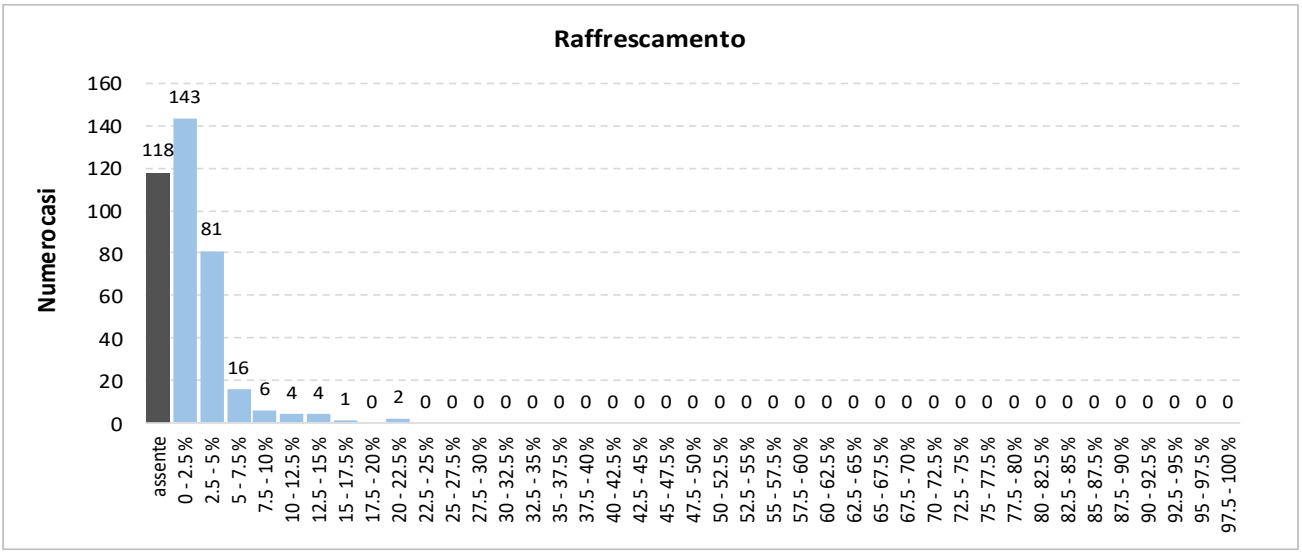


Figura 3.14 – Abitazioni e numero di stanze climatizzate.

Nelle abitazioni ove presente, l'incidenza media dei consumi per il raffrescamento sui consumi di energia primaria è pari al 3.6%, oscillando tra un valore minimo dell'1.0% ed un valore massimo del 22.2%. Il grafico della Figura 3.15 riporta un riepilogo dei casi considerati.


Raffrescamento
Numero casi
160
140
120
100
80
60
40
20
0
118
143
81
16
6
4
4
1
0
2
0
0
0

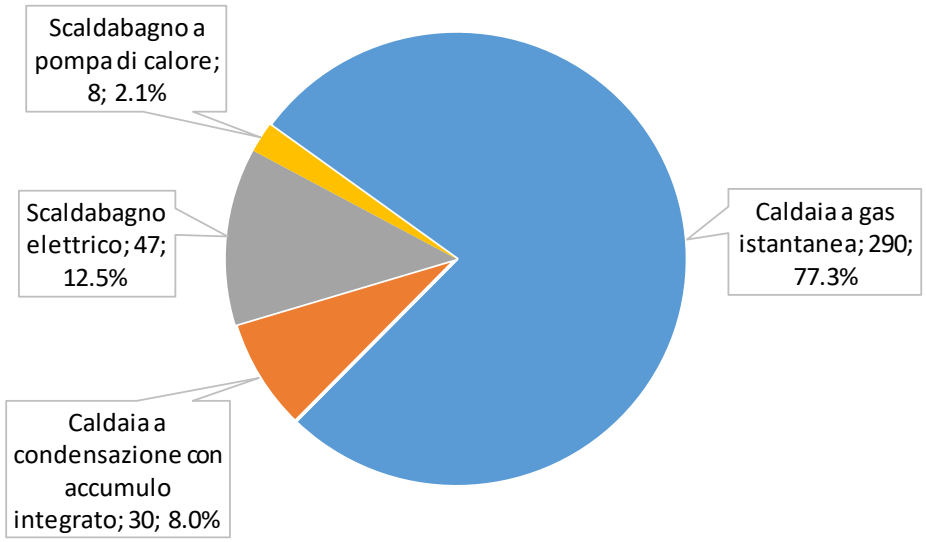


Figura 3.17 – Impianti di preparazione acqua calda sanitaria nelle abitazioni considerate [tipologia, numero, percentuale].

L'incidenza media dei consumi per la preparazione dell'acqua calda sanitaria sui consumi di energia primaria è pari al 13.9%, oscillando tra un valore minimo del 2.6% ed un valore massimo del 44.5%.
Il grafico della Figura 3.18 riporta un riepilogo dei casi considerati.

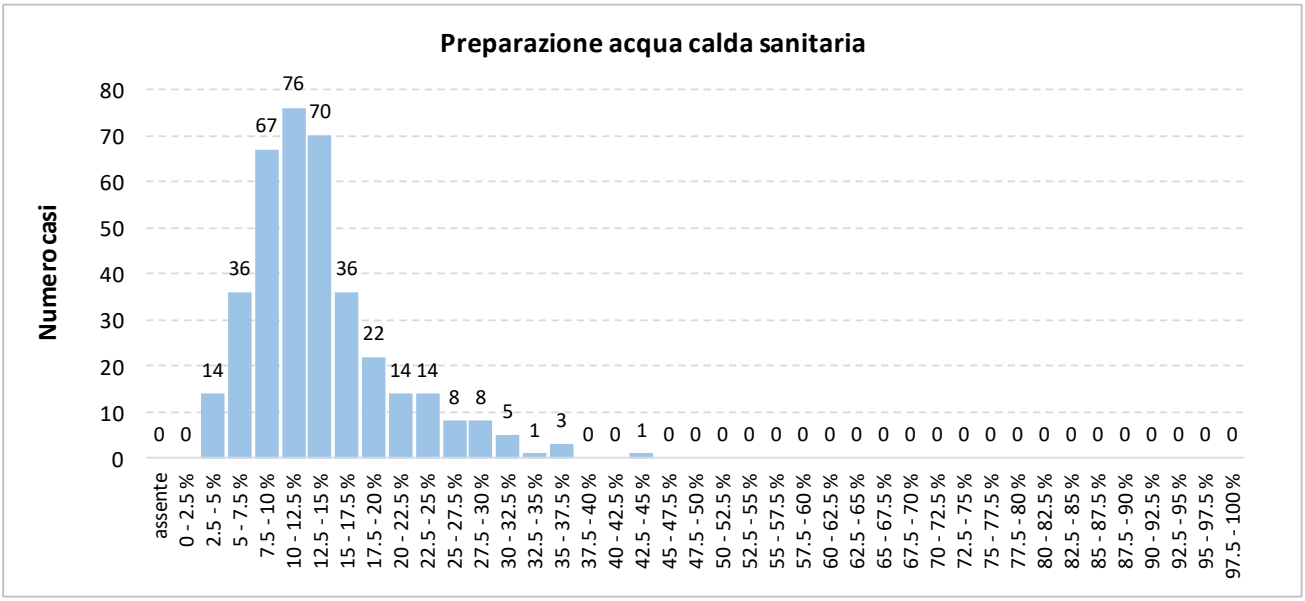
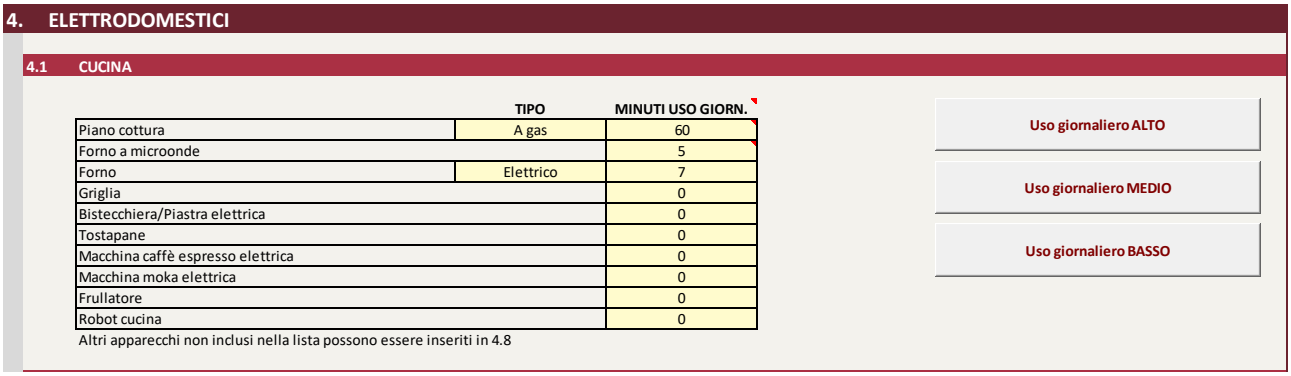


Figura 3.18 – Incidenza dei consumi per la preparazione di acqua calda sanitaria sui consumi di energia primaria.

3.5 Cucina

Le informazioni relative agli usi energetici di cucina sono quelle riportate in Figura 3.19.
Per il piano cottura è possibile scegliere tra tre diverse alternative (a gas, elettrico, elettrico a induzione), indicando i minuti di uso giornaliero; per il forno è possibile scegliere tra due alternative (elettrico, a gas); per le altre apparecchiature è unicamente necessario indicare i minuti di uso giornaliero.



4. ELETTRODOMESTICI

4.1 CUCINA

	TIPO	MINUTI USO GIORN.
Piano cottura	A gas	60
Forno a microonde		5
Forno	Elettrico	7
Griglia		0
Bistecchiera/Piastra elettrica		0
Tostapane		0
Macchina caffè espresso elettrica		0
Macchina moka elettrica		0
Frullatore		0
Robot cucina		0

Altri apparecchi non inclusi nella lista possono essere inseriti in 4.8

Uso giornaliero ALTO

Uso giornaliero MEDIO

Uso giornaliero BASSO

Figura 3.19 – Cucina.

Sulla base dei questionari raccolti, in tutte le abitazioni considerate sono presenti il piano cottura ed il forno (Figura 3.20); per quanto riguarda il piano cottura, si ha una netta prevalenza dei piani di cottura a gas (97.9%), rispetto ai piani di cottura elettrici (0.5%) o elettrici a induzione (1.6%); per quanto riguarda il forno, si ha una netta prevalenza dei forni elettrici (92.0%) rispetto ai forni a gas (8.0%).

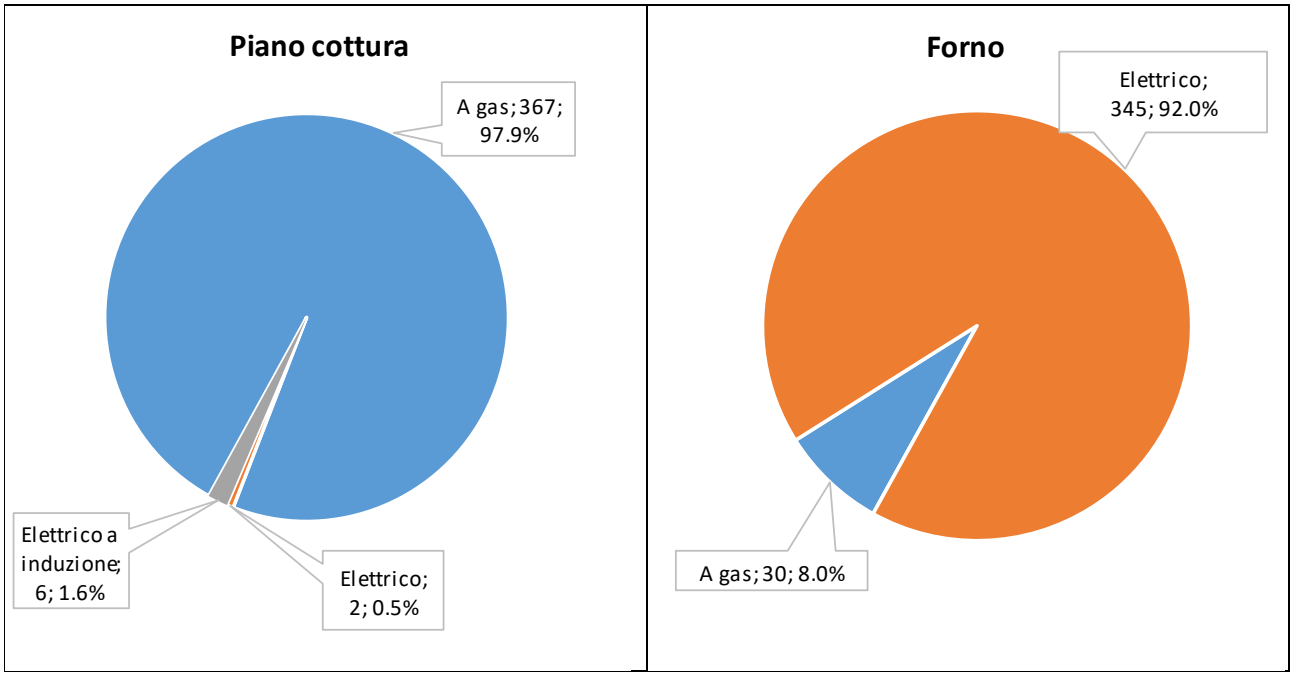


Figura 3.20 – Dotazioni cucina: piano cottura a sinistra, forno a destra [tipologia, numero, percentuale].

L'incidenza media dei consumi per la cottura dei cibi sui consumi di energia primaria è pari al 12.4%, oscillando tra un valore minimo del 2.0% ed un valore massimo del 63.2%.
Il grafico della Figura 3.21 riporta un riepilogo dei casi considerati.

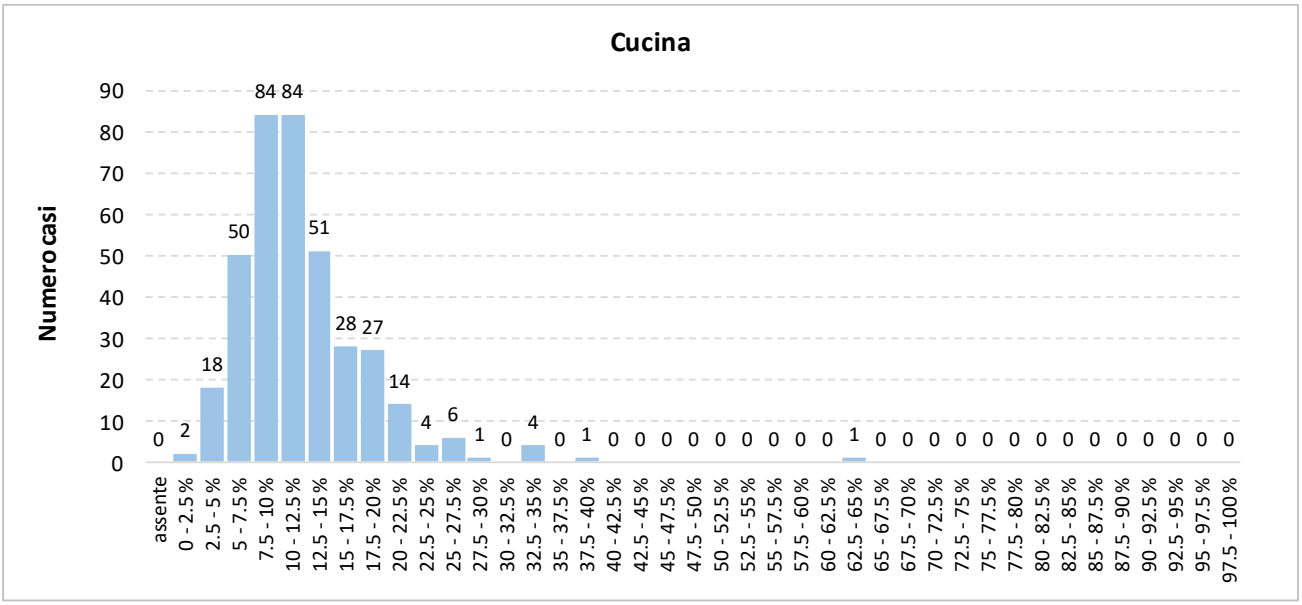


Figura 3.21 – Incidenza dei consumi di cucina sui consumi di energia primaria.

Relativamente alle apparecchiature di cucina, è stata sviluppata una ulteriore analisi, separando le apparecchiature ad uso comune (piano cottura, forno a microonde, forno) dalle altre apparecchiature ad uso marginale.

Si è osservato che larga parte dei consumi della cucina dipendono dal piano cottura, dal forno a microonde e dal forno.

Per le restanti apparecchiature, ove presenti (250 abitazioni, 66.7% del totale), si è constatata un'incidenza media sui consumi di energia primaria dello 1.0%, con un valore minimo dello 0.1% e un valore massimo del 3.4%. Il grafico della Figura 3.22 riporta un riepilogo dei casi considerati.

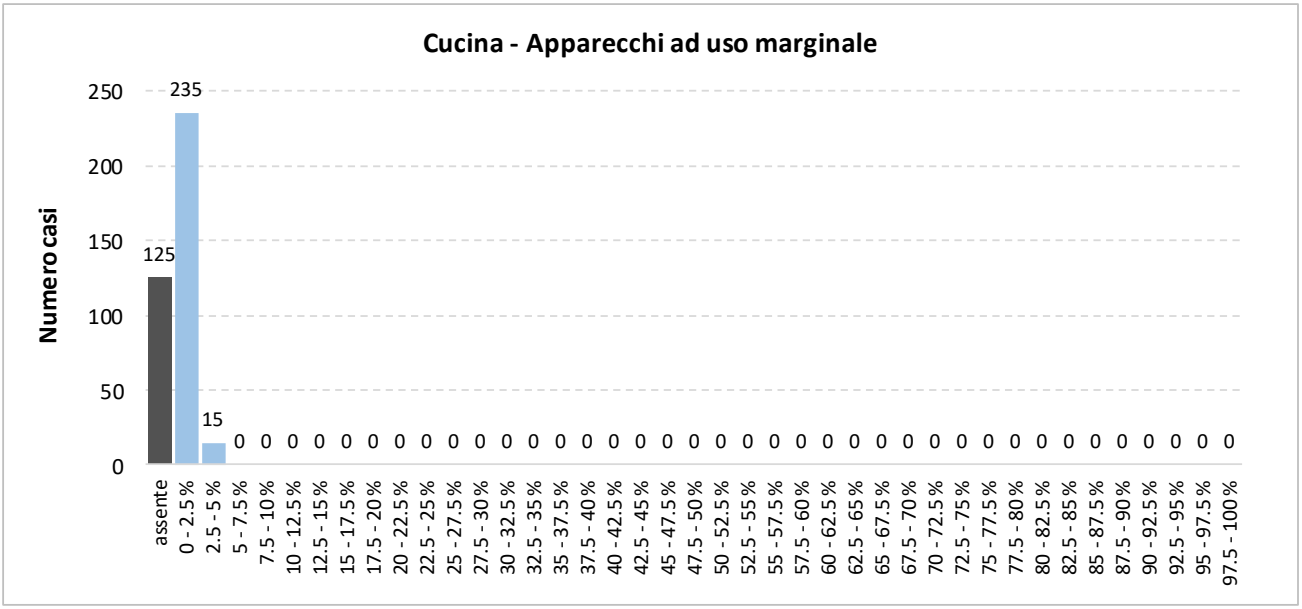
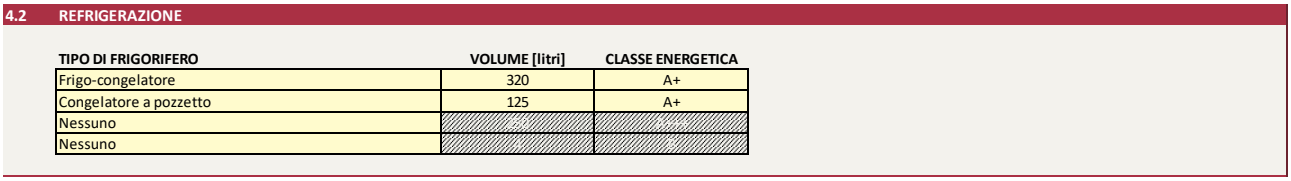


Figura 3.22 – Incidenza dei consumi delle aparecchiaturedi cucina ad uso marginale sui consumi di energia primaria.

3.6 Refrigerazione

Le apparecchiature utilizzate per la refrigerazione e per la congelazione possono essere selezionate attraverso un menu a tendina (frigorifero a temperatura moderata o cantina; frigorifero con scomparto a 1 stella; frigorifero con scomparto a 2 stelle; frigorifero con scomparto a 3 stelle; frigo-congelatore, congelatore verticale; congelatore a pozzetto). Per le apparecchiature presenti è necessario indicare il volume utile e la classe energetica.



4.2 REFRIGERAZIONE

TIPO DI FRIGORIFERO	VOLUME [litri]	CLASSE ENERGETICA
Frigo-congelatore	320	A+
Congelatore a pozzetto	125	A+
Nessuno		
Nessuno		

Figura 3.23 – Refrigerazione, congelazione.

In tutte le abitazioni considerate è presente almeno un'apparecchiatura per la refrigerazione; in 81 abitazioni (21.6%) sono presenti due apparecchiature; in 12 abitazioni (3.2%) ne sono presenti tre.
L'incidenza media dei consumi per refrigerazione e congelazione sui consumi di energia primaria è pari al 3.8%, oscillando tra un valore minimo dell'1.1% ed un valore massimo del 17.1%.
Il grafico della Figura 3.24 riporta un riepilogo dei casi considerati.

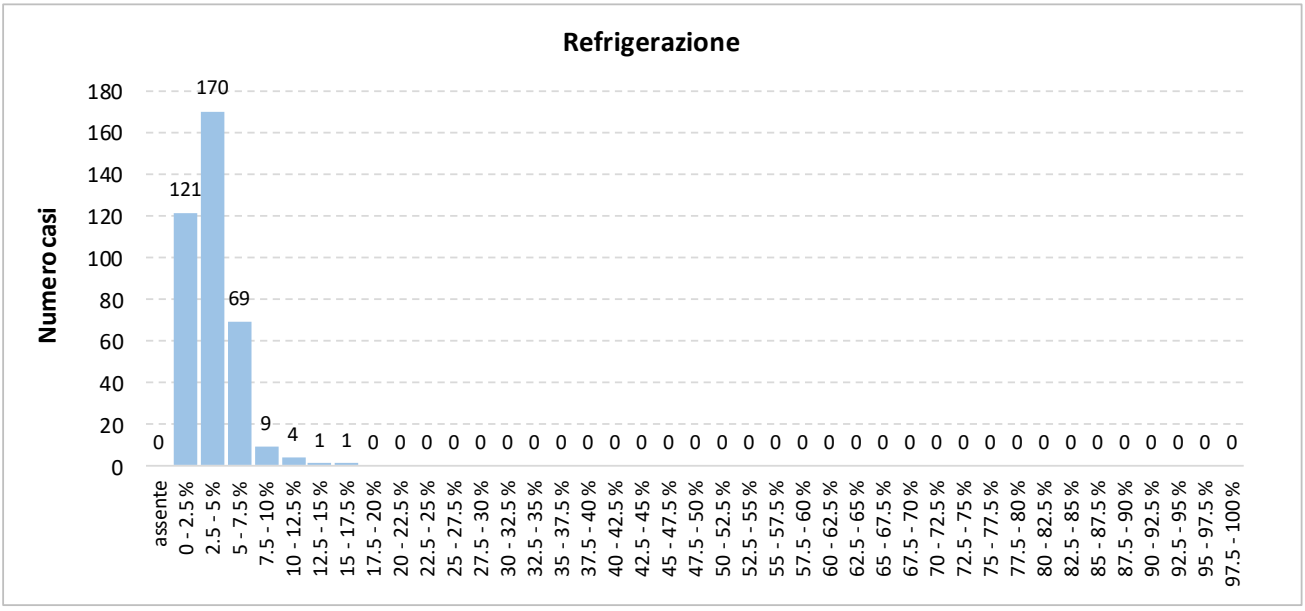
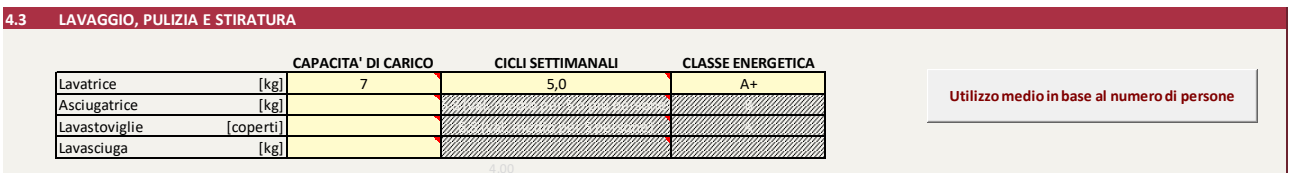


Figura 3.24 – Incidenza dei consumi per refrigerazione e congelazione sui consumi di energia primaria.

3.7 Lavaggio

Per i grandi elettrodomestici (lavatrice, asciugatrice, lavastoviglie, lavasciuga) il foglio di calcolo prevede l'indicazione della capacità di carico, del numero di cicli settimanali e della classe energetica.



4.3 LAVAGGIO, PULIZIA E STIRATURA

		CAPACITA' DI CARICO	CICLI SETTIMANALI	CLASSE ENERGETICA
Lavatrice	[kg]	7	5,0	A+
Asciugatrice	[kg]			
Lavastoviglie	[coperti]			
Lavasciuga	[kg]			

Utilizzo medio in base al numero di persone

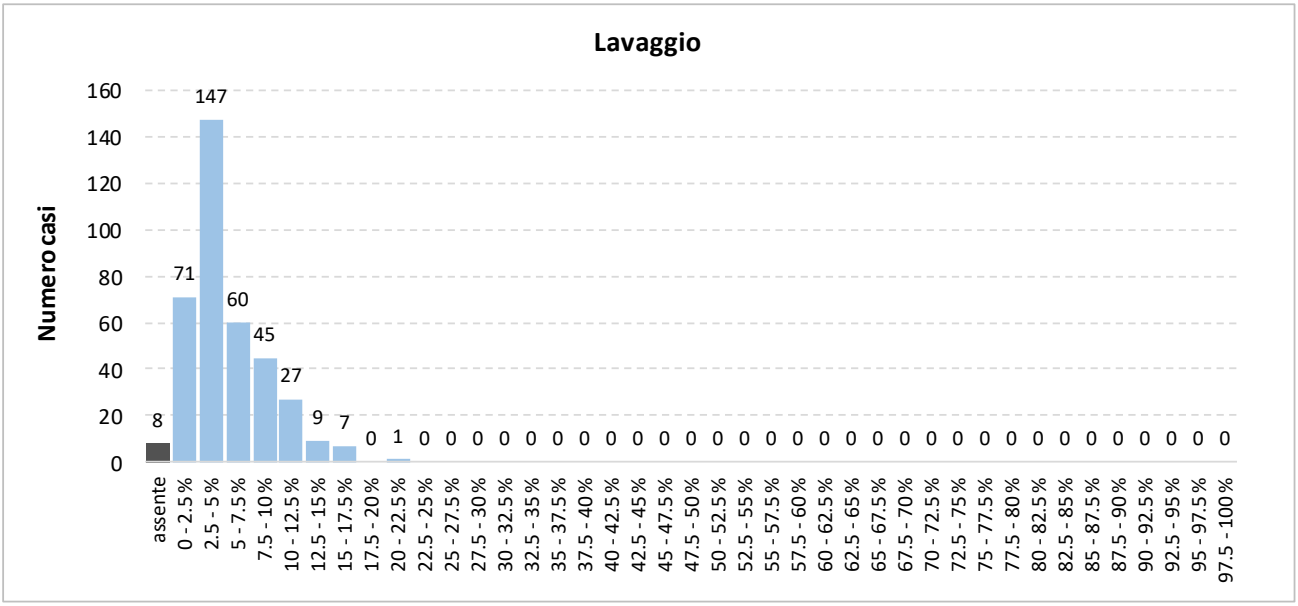
Figura 3.25 –Lavaggio biancheria, asciugatura biancheria, lavaggio stoviglie.

Sulla base dei questionari raccolti, in quasi tutte le abitazioni considerate è presente la lavatrice (372 abitazioni; 99.2% del totale), con 3 sole eccezioni in cui è presente una lavasciuga.
La lavastoviglie è presente solo nel 57.3% delle abitazioni; la presenza dell'asciugatrice è limitata al 15.7% delle abitazioni.

Tabella 3.1 – Presenza dei grandi elettrodomestici.

	Presenza (% sul totale)	Capacità di carico (media)
Lavatrice	99.2%	6.8 kg
Asciugatrice	15.7%	7.6 kg
Lavastoviglie	57.3%	10.7 coperti
Lavasciuga	0.8%	7.7 kg

L'incidenza media dei consumi per lavaggio sui consumi di energia primaria è pari al 5.5%, oscillando tra un valore minimo dell'0.9% ed un valore massimo del 21.8%.
Il grafico della Figura 3.26 riporta un riepilogo dei casi considerati.


Lavaggio
Numero casi
160
140
120
100
80
60
40
20
0
8
71
147
60
45
27
9
7
0
1
0
0
0

3.8 Pulizia e stiratura

Per le apparecchiature utili alla pulizia dell'abitazione (aspirapolvere, scopa elettrica) e alla stiratura (ferro da stiro senza caldaia, ferro da stiro con caldaia) il foglio di calcolo prevede unicamente l'indicazione dei minuti di uso giornaliero.

4.3 LAVAGGIO, PULIZIA E STIRATURA

	MINUTI USO GIORN.
Aspirapolvere	5
Scopa elettrica	
Ferro da stiro senza caldaia	
Ferro da stiro con caldaia	

Altri apparecchi non inclusi nella lista possono essere inseriti in 4.8

Figura 3.27 –Lavaggio biancheria, asciugatura biancheria, lavaggio stoviglie.

Sulla base dei questionari raccolti, sono presenti apparecchiature per pulizia e stiratura in 360 delle abitazioni considerate (96.0%). Nelle abitazioni ove presente, l'incidenza media dei consumi per pulizia e stiratura sui consumi di energia primaria è pari al 3.5%, oscillando tra un valore minimo dell'1.0% ed un valore massimo del 12.9%. Il grafico della Figura 3.28 riporta un riepilogo dei casi considerati.

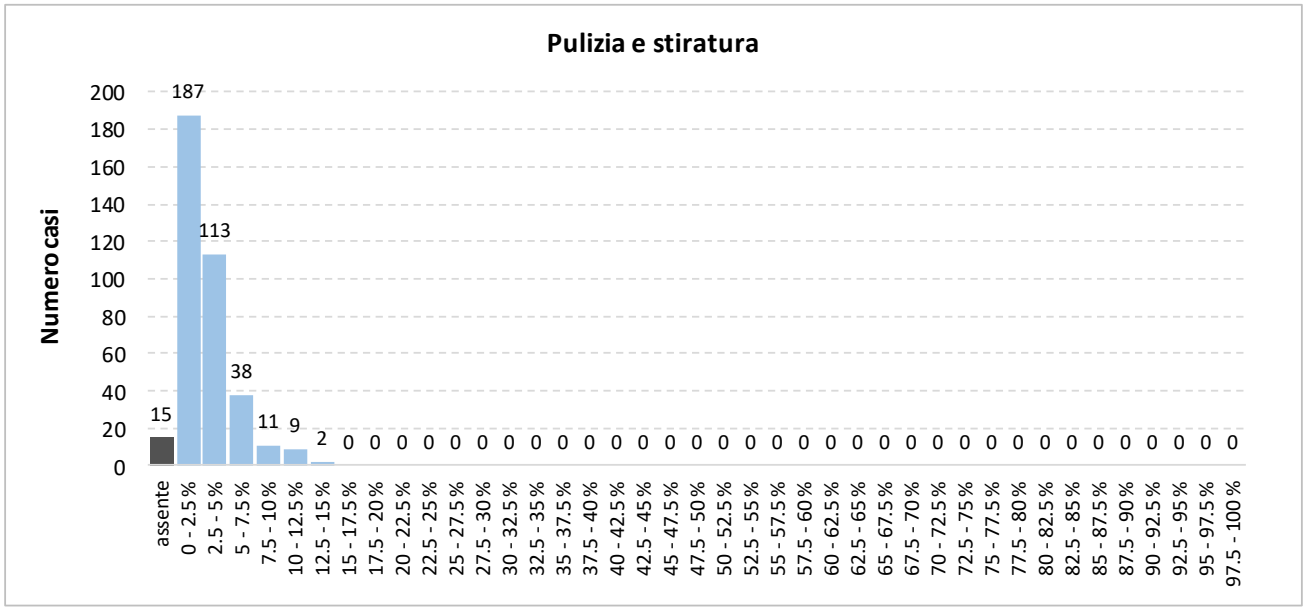


Figura 3.28 – Incidenza dei consumi per pulizia e stiratura sui consumi di energia primaria.

3.9 Illuminazione

Le informazioni relative all'illuminazione degli ambienti sono quelle riportate in Figura 3.29 e prevedono una semplice numerazione delle lampade, con suddivisione tra le diverse tipologie (a incandescenza; alogene; fluorescenti; a led).

4.4 ILLUMINAZIONE

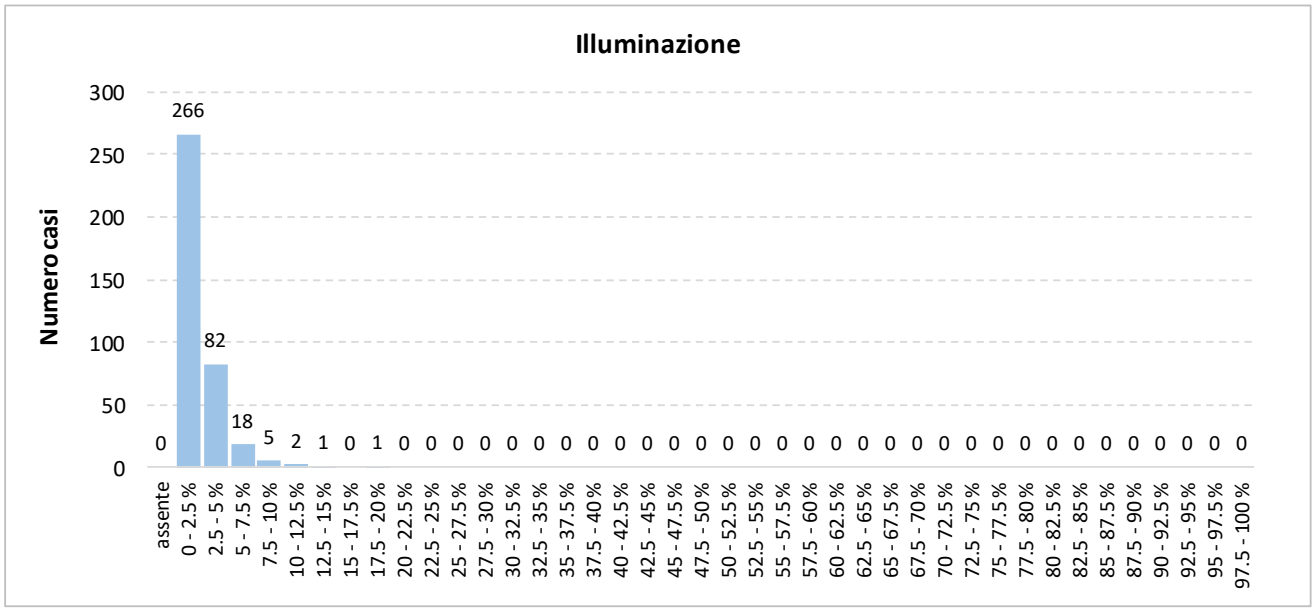
Inserisci qui sotto tutte le lampadine che hai a casa, comprese le lampade da tavolo, degli specchi, ecc.
Non mettere quelle del frigorifero (sono comprese nei consumi del frigo) e quelle della cappa (sono comprese nei consumi della cappa).

TIPO LAMPADE	NUMERO DI LAMPADE
Obsolete (lampade a incandescenza)	2
Tradizionali (lampade alogene)	4
A risparmio energetico (lampade fluorescenti)	10
Ad alta efficienza (lampade, moduli o strisce LED)	2

Illuminazione poco efficiente
Illuminazione media
Illuminazione molto efficiente

Figura 3.29 – Illuminazione ambienti.

Ovviamente, in tutte le abitazioni considerate è presente un impianto di illuminazione; l'incidenza media dei consumi per illuminazione sui consumi di energia primaria è pari al 2.8%, oscillando tra un valore minimo dell'1.0% ed un valore massimo del 18.1%. Il grafico della Figura 3.30 riporta un riepilogo dei casi considerati.


Illuminazione
Numero casi
300
250
200
150
100
50
0
266
82
18
5
2
1
0
1
0
0
0

3.10 Postazioni Audio-Video

Le informazioni relative alle postazioni audio-video sono quelle riportate in Figura 3.31. Si tratta in generale di apparecchiature per le quali la caratterizzazione energetica viene effettuata con riferimento a valori medi di potenza elettrica e in base all'uso effettuato. Unica eccezione sono i televisori o i monitor, sottoposti a etichettatura energetica, per i quali è necessario fornire indicazioni circa le dimensioni e la classe energetica.

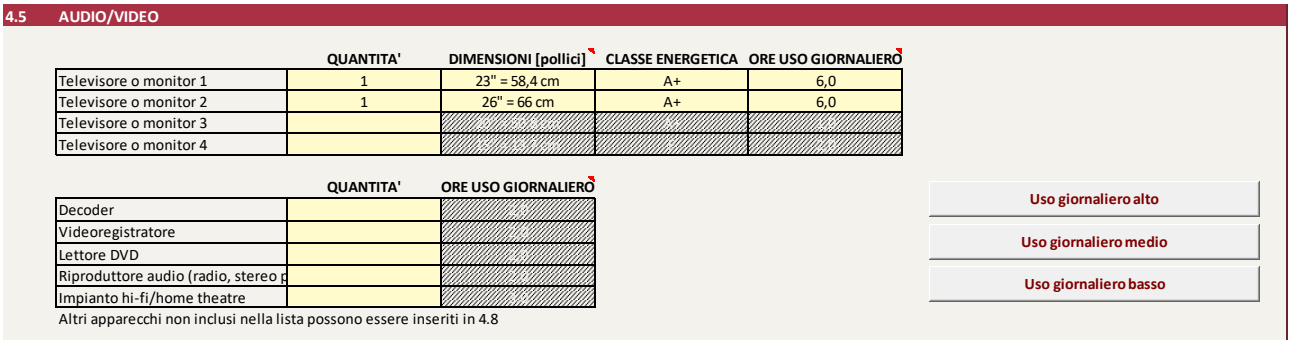


Figura 3.31 – Postazioni audio/video.

Sulla base dei questionari raccolti, sono presenti postazioni audio/video in 373 delle abitazioni considerate (99.5%). Nelle abitazioni ove presente, l'incidenza media dei consumi delle postazioni audio/video sui consumi di energia primaria è pari all'1.8%, oscillando tra un valore minimo dell'1.0% ed un valore massimo del 4.2%. Il grafico della Figura 3.32 riporta un riepilogo dei casi considerati.

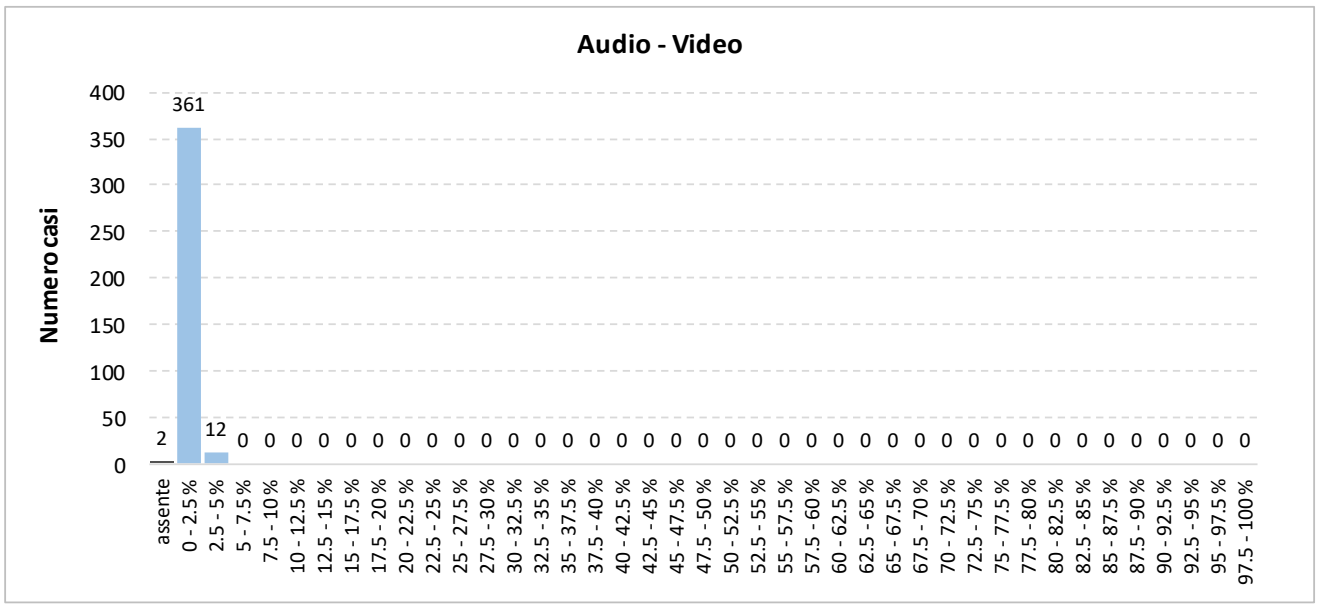


Figura 3.32 – Incidenza dei consumi delle postazioni audio/video sui consumi di energia primaria.

3.11 Computer - Internet

Le informazioni relative alle postazioni PC, al modem per l'accesso ad internet e ad eventuali apparecchiature accessorie ad uso marginale sono quelle riportate in Figura 3.33. Si tratta di apparecchiature per le quali la caratterizzazione energetica viene effettuata con riferimento a valori medi di potenza elettrica e in base all'uso effettuato.

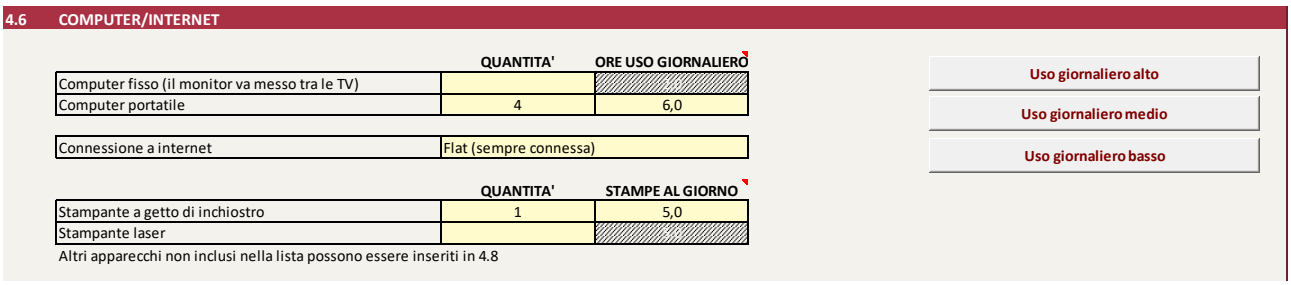
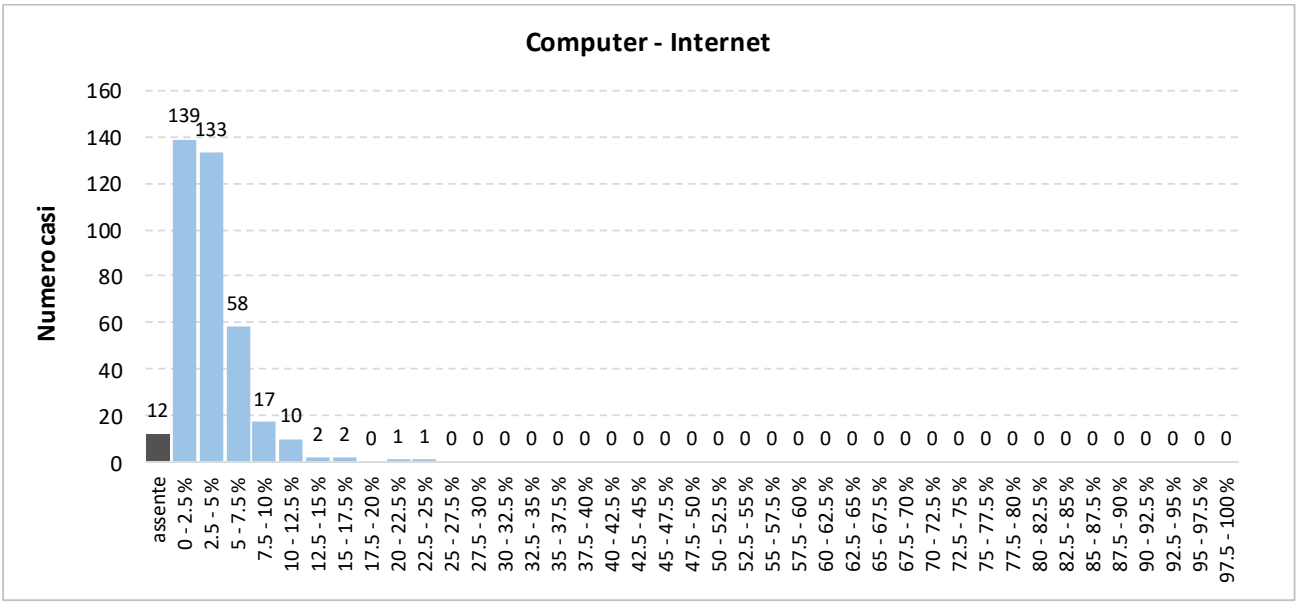
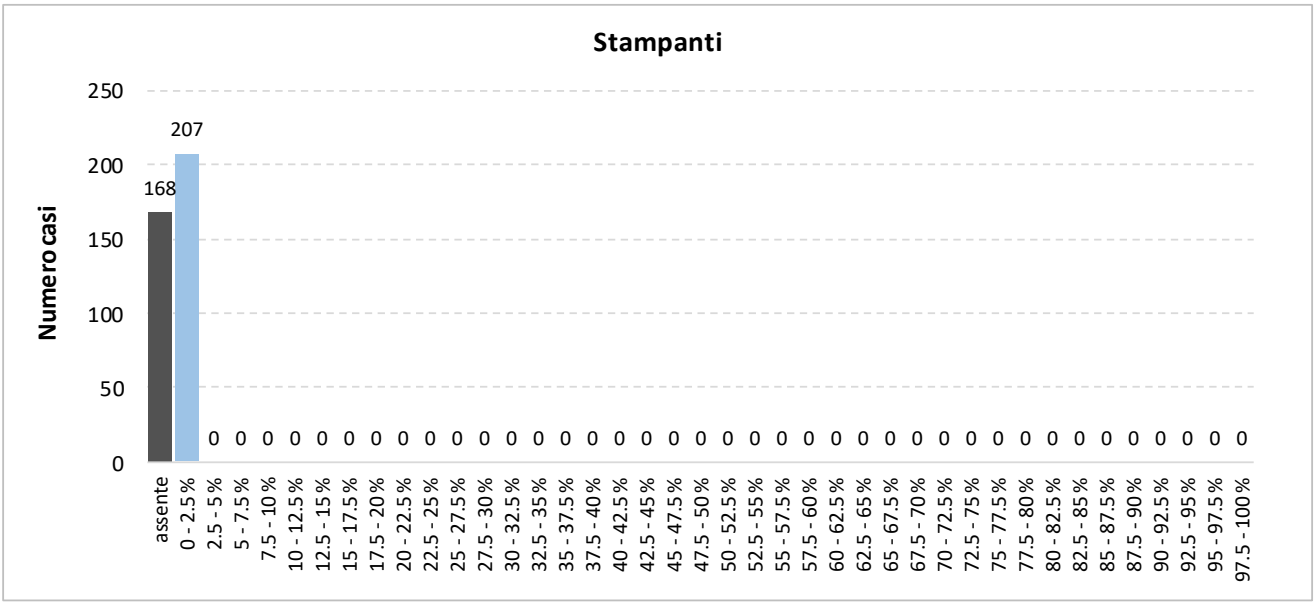


Figura 3.33 – Postazioni PC.

Sulla base dei questionari raccolti, sono presenti postazioni PC in 363 delle abitazioni considerate (96.8%), mentre non è presente nessuna apparecchiatura in 12 abitazioni (3.2%). Nelle abitazioni ove presente, l'incidenza media dei consumi delle postazioni PC sui consumi di energia primaria è pari al 3.7%, oscillando tra un valore minimo dell'1.0% ed un valore massimo del 23.2%. Il grafico della Figura 3.34 riporta un riepilogo dei casi considerati.


Computer - Internet
Numero casi
160
140
120
100
80
60
40
20
0
12
139
133
58
17
10
2
2
0
1
1
0
0
0


Stampanti
Numero casi
250
200
150
100
50
0
168
207
0 0 0

abitazioni ove presente, l'incidenza media dei consumi delle apparecchiature per la cura della persona è pari al 2.9%, oscillando tra un valore minimo dell'1.0% ed un valore massimo dell'11.4%. Il grafico della Figura 3.37 riporta un riepilogo dei casi considerati.

3.13 Altri apparecchi

L'ultima parte del questionario di raccolta dati presenta una sezione ad input libero, per inserire altri apparecchi non menzionati altrove (Figura 3.38); anche in questo caso la caratterizzazione energetica viene effettuata con riferimento a valori medi di potenza elettrica e in base all'uso effettuato.

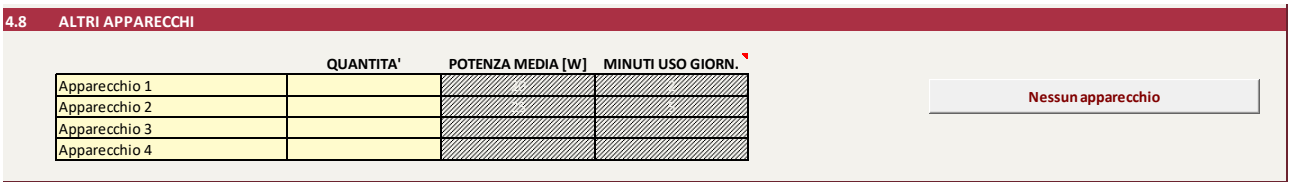


Figura 3.38 – Altri apparecchi.

Sulla base dei questionari raccolti, questa sezione del questionario è stata compilata solo per 43 abitazioni (11.5%). Nelle abitazioni ove la sezione è stata compilata, l'incidenza media dei consumi delle apparecchiature è pari all'1.9%, oscillando tra un valore minimo dell'1.3% ed un valore massimo del 2.1%. Il grafico della Figura 3.39 riporta un riepilogo dei casi considerati.

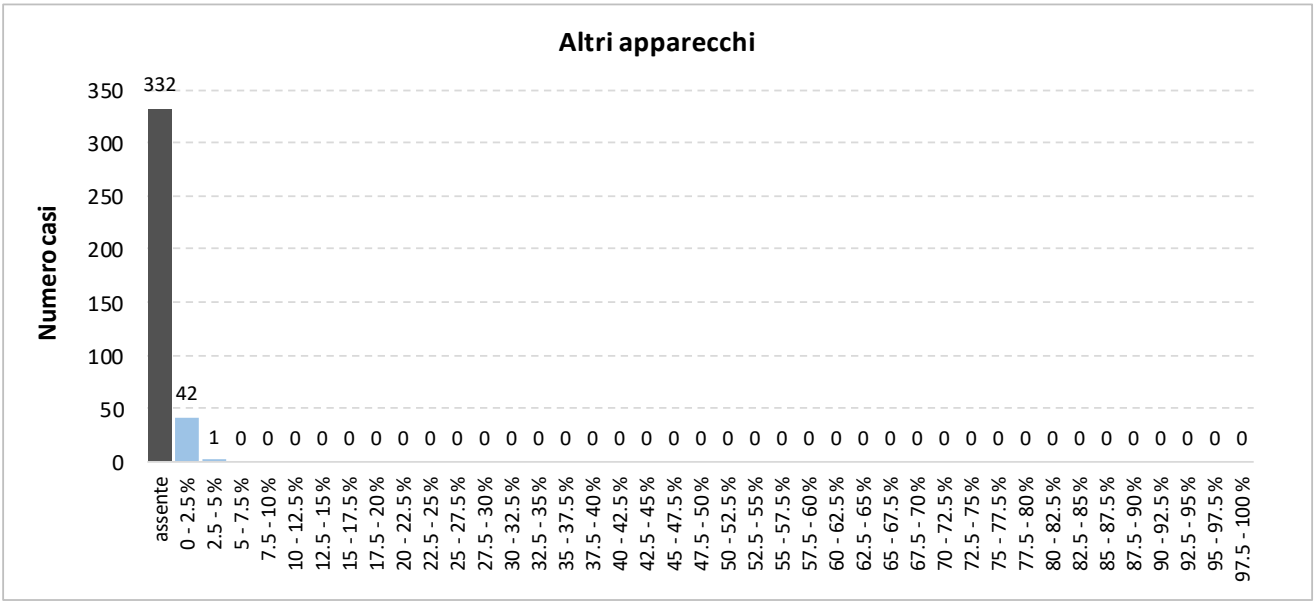


Figura 3.39 – Incidenza dei consumi per altri apparecchi.

3.14 Considerazioni di riepilogo

Lo scopo dell'analisi effettuata è la valutazione dell'incidenza sui consumi di energia primaria dei diversi servizi e dei dati di input forniti, con l'intenzione di arrivare eventualmente al congelamento o alla standardizzazione di input poco variabili o comunque poco influenti sui risultati.
Si è visto quale sia l'incidenza dei diversi servizi, con un'indicazione sui valori medi, sui valori minimi e sui valori massimi (Tabella 3.2).

Tabella 3.2 – – Incidenza dei servizi sui consumi di energia primaria.

	incidenza		
	min	med	max
3.1 RISCALDAMENTO	8.0%	43.6%	75.1%
3.2 RAFFRESCAMENTO	1.0%	3.6%	22.2%
3.3 ACS	2.6%	13.9%	44.5%
4.1 CUCINA	2.0%	12.4%	63.2%
4.2 REFRIGERAZIONE	1.1%	3.8%	17.1%
4.3 LAVAGGIO	0.9%	5.5%	21.8%
4.3 PULIZIA E STIRATURA	1.0%	3.5%	14.8%
4.4 ILLUMINAZIONE	1.0%	2.8%	18.1%
4.5 AUDIO VIDEO	1.0%	1.8%	4.2%
4.6 COMPUTER INTERNET	1.0%	4.2%	23.2%
4.7 CURA PERSONA	1.0%	2.9%	11.4%
4.8 ALTRI APPARECCHI	1.3%	1.9%	2.6%

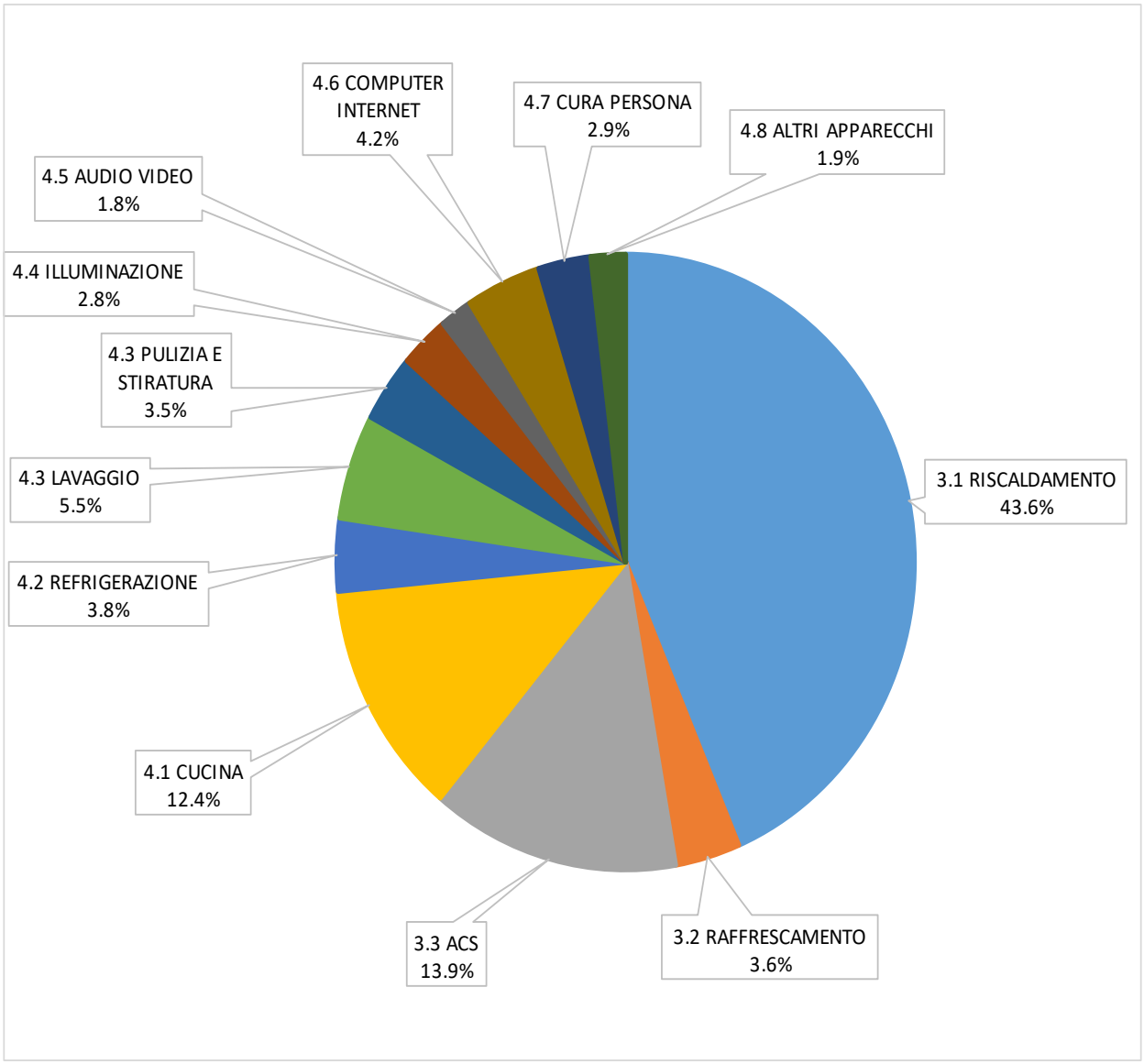


Figura 3.40 – Incidenze medie dei servizi sui consumi di energia primaria.

Volendo arrivare ad una semplificazione del foglio di calcolo, utile a velocizzare l'immissione dei dati e a non appesantire il lavoro di raccolta delle informazioni, si ritiene di dover porre una soglia dell'8% all'incidenza sui consumi di energia primaria per ritenere un input significativo.
Il grafico riportato in Figura 3.41 riepiloga (utilizzando una scala logaritmica per comodità di rappresentazione) le incidenze medie e massime di ognuno dei servizi considerati confrontandole con il valore soglia.

La lettura del grafico consente di affermare che in tutti i casi considerati, l'incidenza delle postazioni audio/video (4.5 AUDIO VIDEO) sui consumi di energia primaria rimane sotto il valore di soglia. Per questo motivo si ritiene di dover congelare tale input del foglio di calcolo sostituendo i consumi delle apparecchiature considerate con il consumo medio, con le modalità che saranno illustrate nel seguito.

Inoltre, sulla base delle considerazioni sviluppate al paragrafo 3.5, relativamente ai consumi delle apparecchiature di cucina ad uso marginale, si ritiene di dover congelare gli input di tali apparecchiature nel foglio di calcolo sostituendo i consumi delle apparecchiature considerate con il consumo medio, con le modalità che saranno illustrate nel seguito.

Analogamente, sulla base delle considerazioni sviluppate al paragrafo 3.11, relativamente ai consumi delle stampanti, si ritiene di dover congelare gli input di tali apparecchiature nel foglio di calcolo sostituendo i consumi delle apparecchiature considerate con il consumo medio, con le modalità che saranno illustrate nel seguito.

L'esame del grafico di Figura 3.41 mostra che anche i consumi di energia primaria per altri apparecchi (4.8 ALTRI APPARECCHI) risultano sotto il valore di soglia. Tuttavia, in questo caso, si tratta di una sezione ad input libero che si ritiene di dover mantenere, per lasciare all'utente la possibilità di inserire apparecchiature non menzionate nel foglio di raccolta dati.

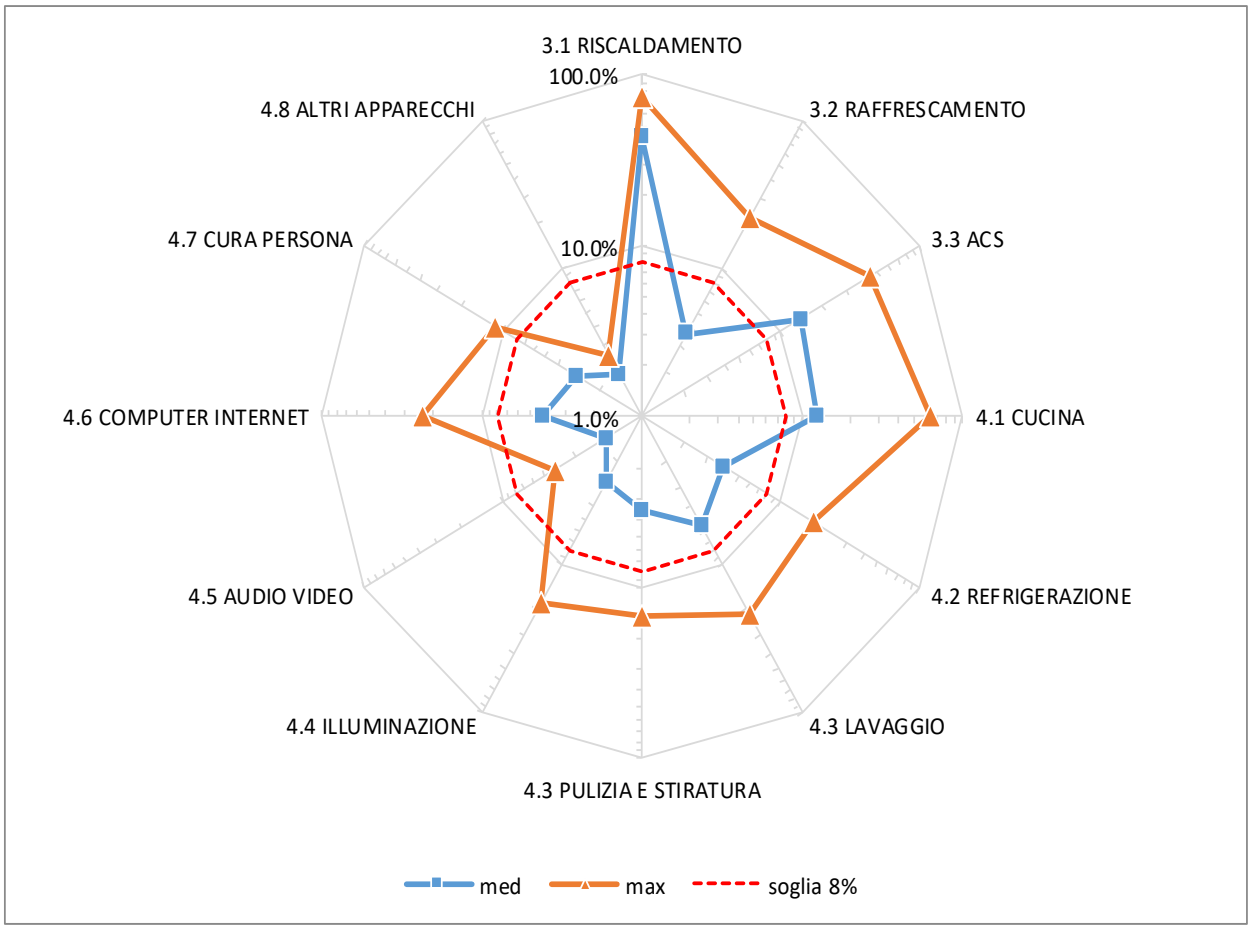


Figura 3.41 – Confronto tra le incidenze medie e massima e il valore di soglia.

3.15 Calcolo dei consumi connessi agli input congelati

Si è deciso di congelare gli input relativi a postazioni audio/video, apparecchiature di cucina ad uso marginale e stampanti, avendo constatato una minima incidenza sui consumi di energia primaria dell'abitazione.
Tutte le apparecchiature considerate sono ad alimentazione elettrica; per questo motivo, si è proceduto con un'ulteriore analisi volta a valutare l'incidenza media di tali utenze sui consumi elettrici, ritenendo tale indicazione più precisa rispetto a quella relativa all'energia primaria.
Sulla base dell'analisi svolta saranno considerati:

- per le postazioni audio/video, consumi elettrici pari al 3.2% dei consumi dell'abitazione;
- per le apparecchiature di cucina ad uso marginale, consumi elettrici pari al 2.1% dei consumi dell'abitazione;
- per le stampanti, consumi elettrici pari allo 0.4% dei consumi dell'abitazione.

4 Analisi di sensibilità dei dati di input

Con l'obiettivo di valutare scenari diversi rispetto allo scenario iniziale, a partire dai dati forniti attraverso i questionari sono stati esaminati gli effetti sui consumi energetici di possibili variazioni dei dati di input, quali un diverso andamento climatico, una variazione delle modalità di utilizzo dell'abitazione, un diverso utilizzo degli impianti, una diminuzione del comfort ambientale dell'utente, una variazione della dotazione tecnologica o una riqualificazione energetica.

4.1 Sensibilità dei consumi di riscaldamento ai dati di input

I consumi di riscaldamento sono influenzati da una pluralità di variabili, quali l'andamento climatico, le caratteristiche geometriche e fisico-tecniche delle pareti, il rendimento degli impianti di riscaldamento, le modalità di occupazione dell'abitazione, gli apporti di calore da sorgenti interne.

Si è cercato di valutare l'effetto sui consumi di riscaldamento della variazione dei seguenti input:

- temperatura esterna;
- temperatura interna;
- generatore di calore dell'impianto di riscaldamento;
- modalità di regolazione calore dell'impianto di riscaldamento.

4.1.1 Variazione della temperatura esterna

Gli effetti di una variazione della variazione della temperatura esterna sono stati simulati attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo; in particolare sono stati considerate le seguenti variazioni:

- incremento di 0,5 °C della temperatura media giornaliera;
- incremento di 1 °C della temperatura media giornaliera;
- diminuzione di 0,5 °C della temperatura media giornaliera;
- diminuzione di 1 °C della temperatura media giornaliera.

I risultati delle simulazioni sono riportati nei grafici di Figura 4.1 e Figura 4.2, dove le variazioni dei consumi di riscaldamento sono riportate in termini assoluti ed in termini percentuali in funzione dei consumi di energia primaria per riscaldamento; negli stessi grafici sono anche riportate le rispettive linee di tendenza, con relativa equazione.
Maggiori sono le variazioni della temperatura esterna (positive o negative) e maggiori sono le variazioni osservate relativamente ai consumi di riscaldamento.
Osservando il grafico delle variazioni percentuali, sebbene con una correlazione meno precisa, si può affermare che una variazione della temperatura esterna ha un effetto percentualmente maggiore per quelle abitazioni caratterizzate da consumi di riscaldamento più bassi; tale circostanza trova la sua giustificazione nella minore importanza che, generalmente, hanno gli apporti interni in un'abitazione caratterizzata da un fabbisogno energetico di riscaldamento elevato.

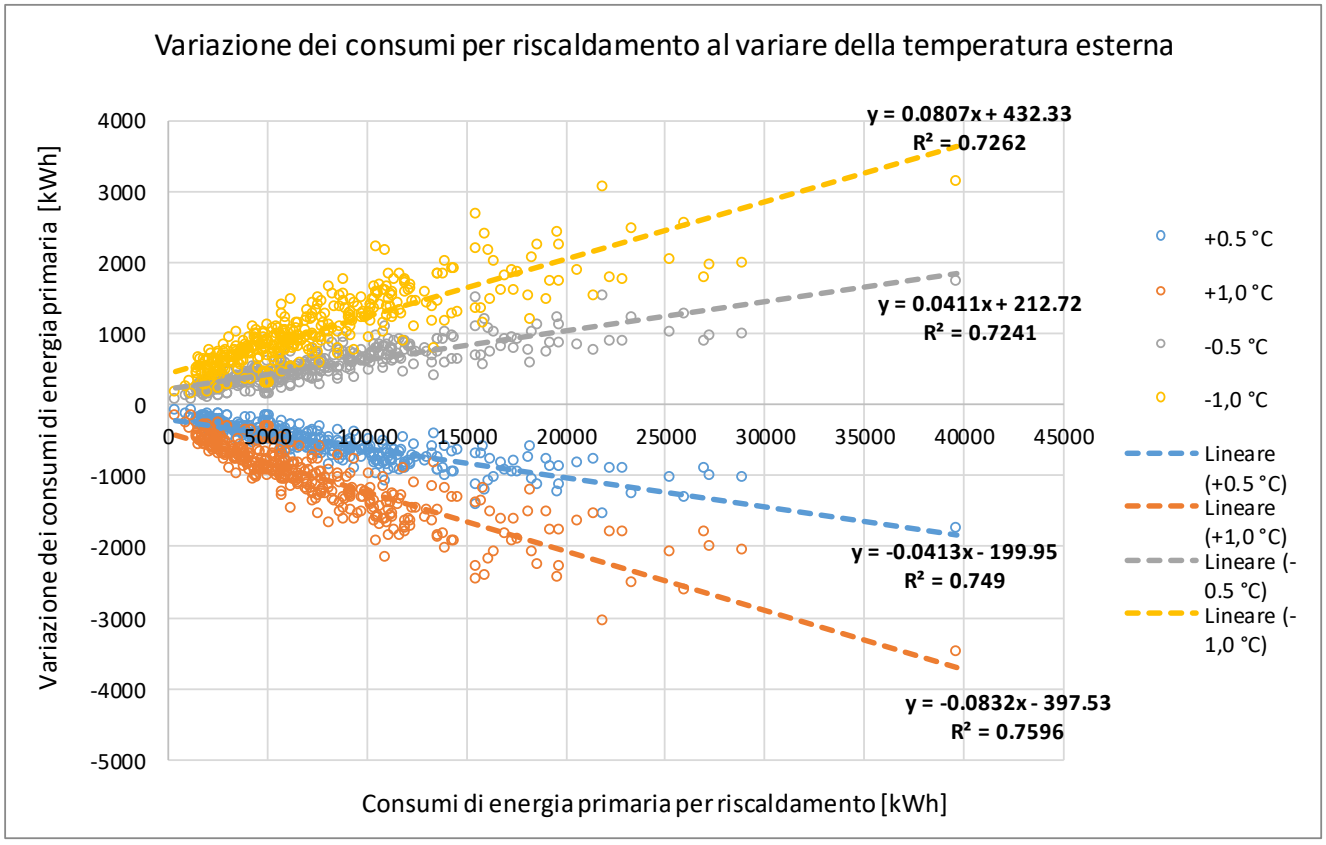


Figura 4.1 – Variazione percentuale dei consumi per riscaldamento al variare della temperatura esterna.

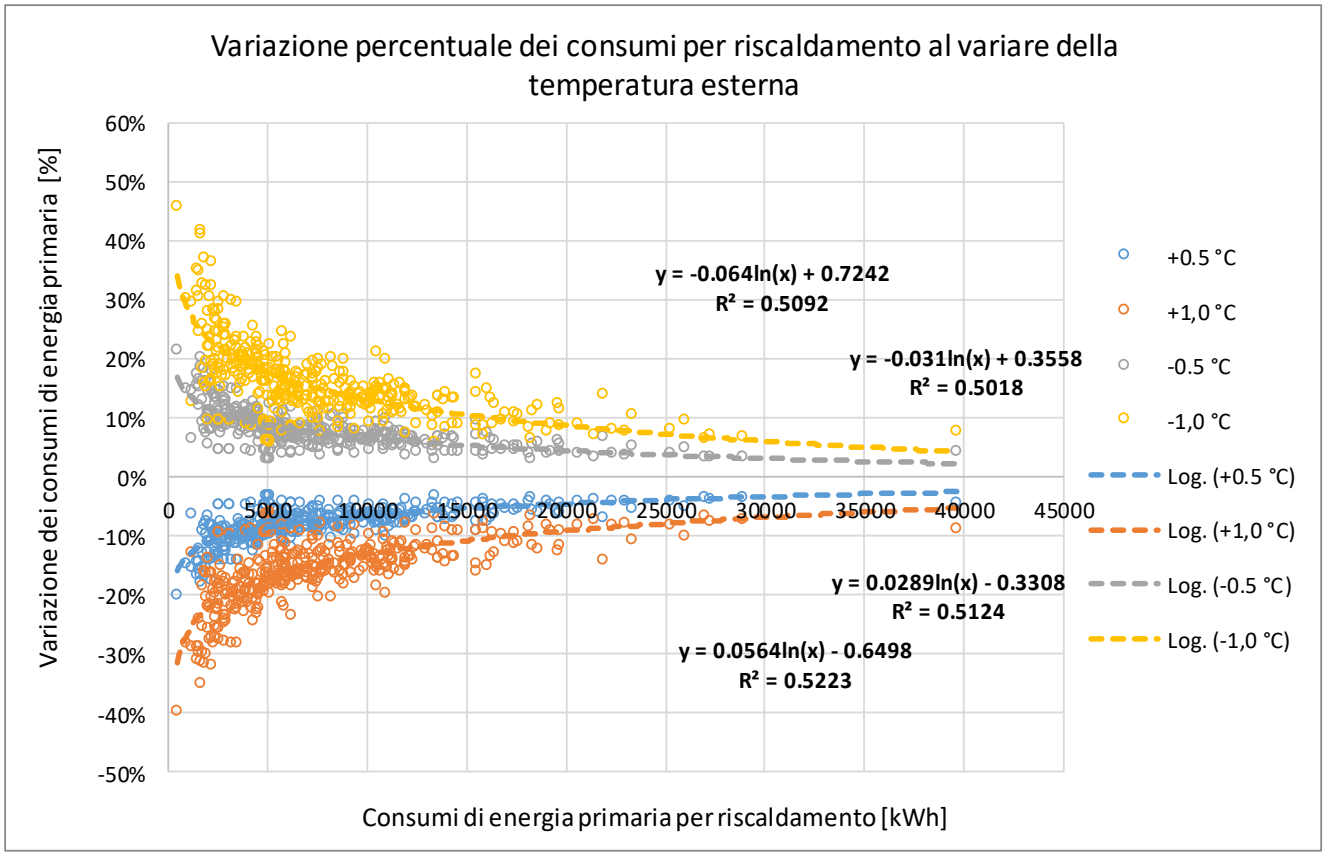


Figura 4.2 – Variazione percentuale dei consumi per riscaldamento al variare della temperatura esterna.

4.1.2 Variazione della temperatura interna

Gli effetti di una variazione della variazione della temperatura interna sono stati simulati attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo; in particolare sono stati considerate le seguenti variazioni:

- incremento di 0,5 °C della temperatura interna di comfort;
- incremento di 1 °C della temperatura interna di comfort;
- diminuzione di 0,5 °C della temperatura interna di comfort;
- diminuzione di 1 °C della temperatura interna di comfort.

I risultati delle simulazioni sono riportati nei grafici di Figura 4.3 e Figura 4.4, dove le variazioni dei consumi di riscaldamento sono riportate in termini assoluti ed in termini percentuali in funzione dei consumi di energia primaria per riscaldamento; negli stessi grafici sono anche riportate le rispettive linee di tendenza, con relativa equazione.
Valgono osservazioni analoghe a quelle già effettuate a proposito delle variazioni della temperatura esterna: maggiori sono le variazioni della temperatura interna (positive o negative) e maggiori sono le variazioni osservate relativamente ai consumi di riscaldamento.
Osservando il grafico delle variazioni percentuali, sebbene con una correlazione meno precisa, si può ancora affermare che una variazione della temperatura interna ha un effetto percentualmente maggiore per quelle abitazioni caratterizzate da consumi di riscaldamento più bassi; tale circostanza trova la sua giustificazione nella minore importanza che, generalmente, hanno gli apporti interni in un'abitazione caratterizzata da un fabbisogno energetico di riscaldamento elevato.

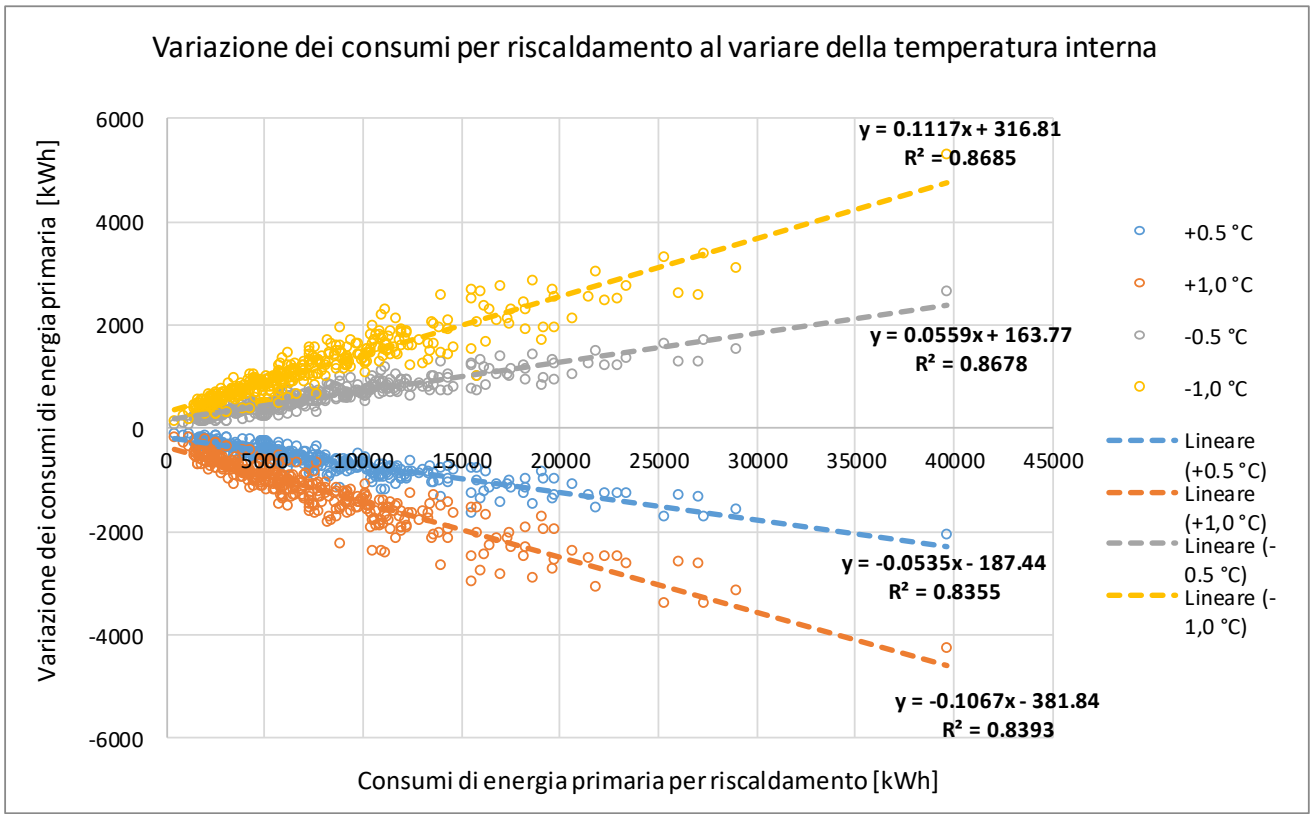


Figura 4.3 – Variazione dei consumi per riscaldamento al variare della temperatura interna.

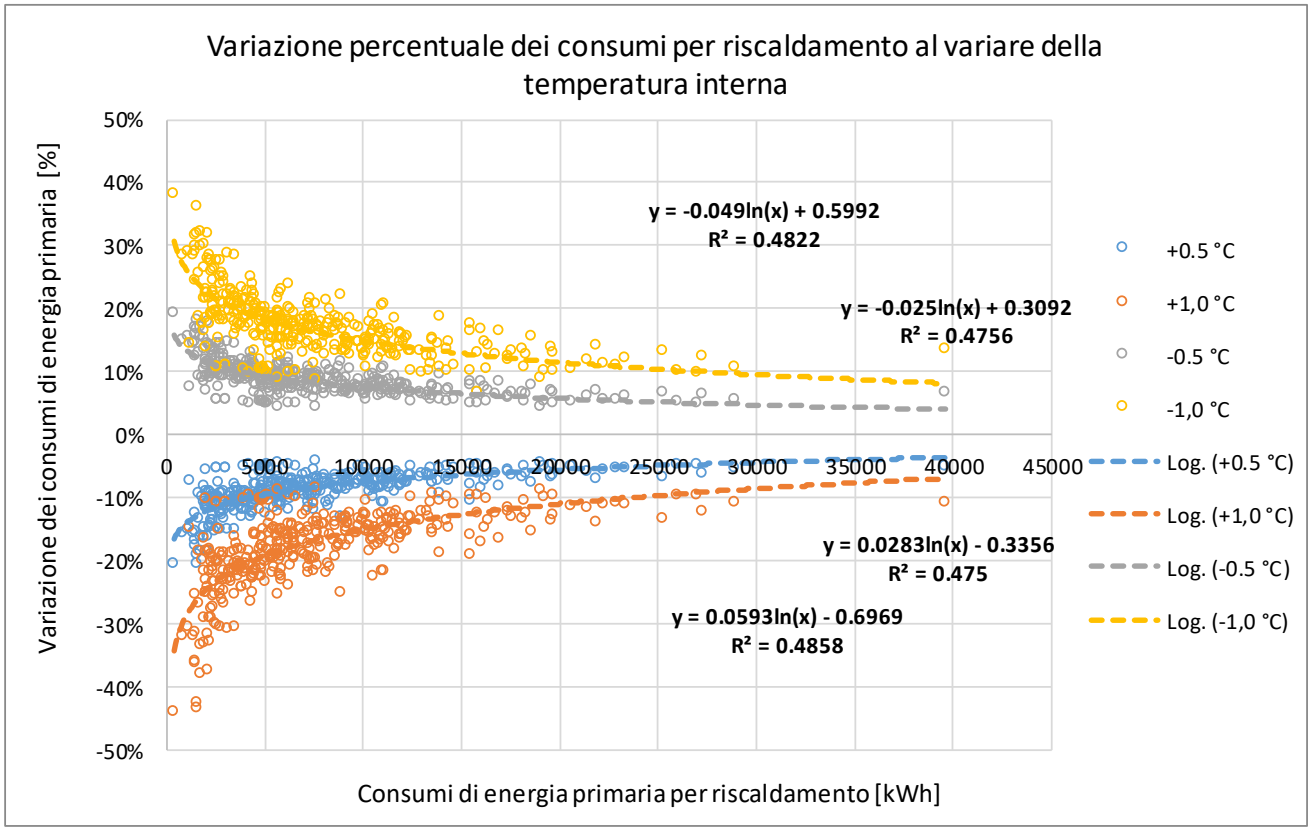


Figura 4.4 – Variazione dei consumi per riscaldamento al variare della temperatura interna.

Un confronto a coppie tra i grafici esposti (Figura 4.1 vs Figura 4.3; Figura 4.2 vs Figura 4.4) consente una ulteriore osservazione: gli effetti di una variazione della temperatura interna sono più alti rispetto a quelli omologhi ma di segno opposto della temperatura esterna; tale circostanza è collegata ai diversi effetti delle due variazioni di temperatura sulla durata del periodo di riscaldamento (legata al particolare andamento delle temperature di una località) e alla diversa capacità di utilizzare gli apporti gratuiti.

4.1.3 Efficientamento dell'impianto di riscaldamento

Gli effetti di un efficientamento dell'impianto di riscaldamento sono stati simulati attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo; in particolare sono stati considerate le seguenti variazioni:

- sostituzione del generatore di calore;
- sostituzione del sistema di regolazione.

I risultati delle simulazioni sono riportati nei grafici di Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9, dove le variazioni dei consumi di riscaldamento sono riportate in termini assoluti ed in termini percentuali in funzione dei consumi di energia primaria per riscaldamento.

Sia la sostituzione del generatore di calore, sia la sostituzione del sistema di regolazione sono state simulate considerando un'evoluzione dalla situazione inziale dichiarata nel foglio di calcolo verso la migliore situazione possibile tra gli input previsti nel foglio di calcolo; per questo motivo i risultati ottenuti devono essere intesi come massima variazione possibile a partire dal dato iniziale.

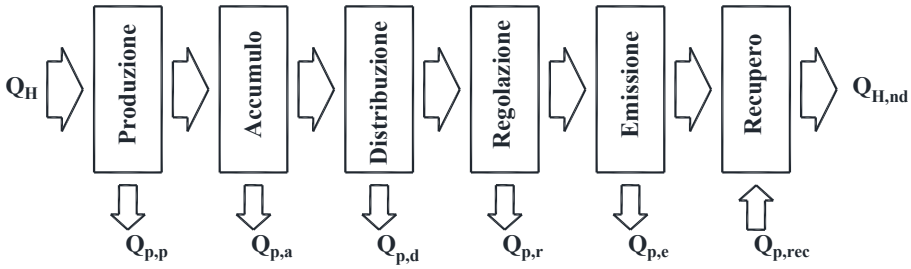


Figura 4.5 - Schema per il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento.

Con riferimento allo schema di Figura 4.5, l'effetto degli interventi simulati è un incremento del rendimento del sottosistema di produzione e del sottosistema di regolazione, con riduzione delle relative perdite.

Osservando i grafici si nota immediatamente come i risultati siano molto raggruppati, con un numero di gruppi che corrisponde alle possibili variazioni dei dati di input offerte dal foglio di calcolo.

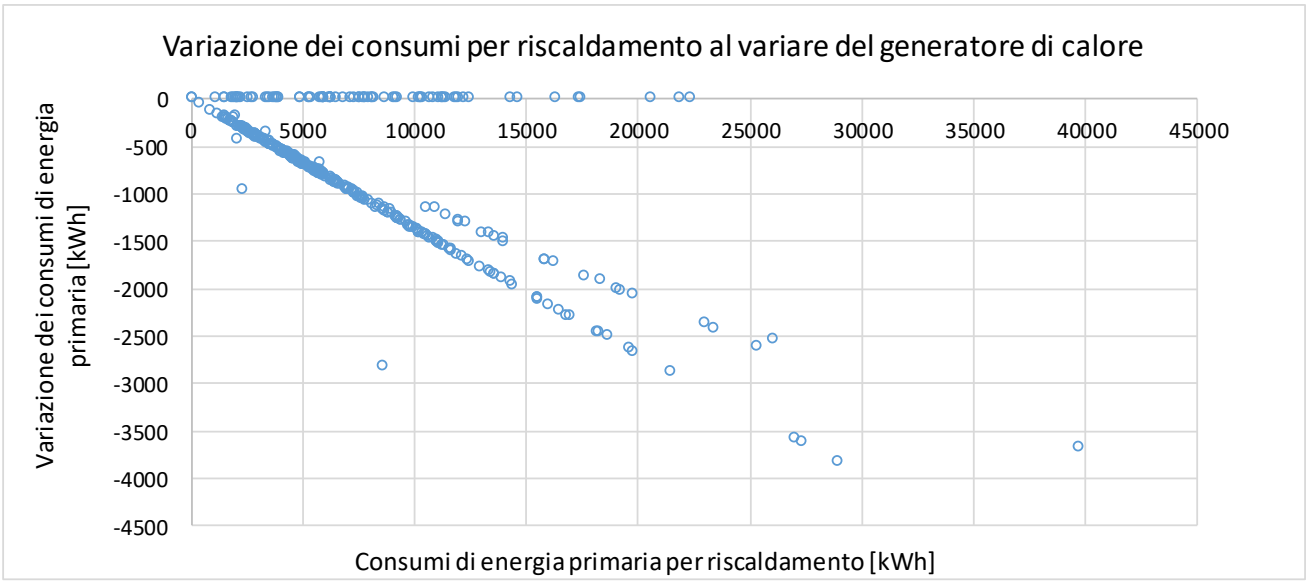


Figura 4.6 – Variazione dei consumi per riscaldamento al variare del generatore di calore.

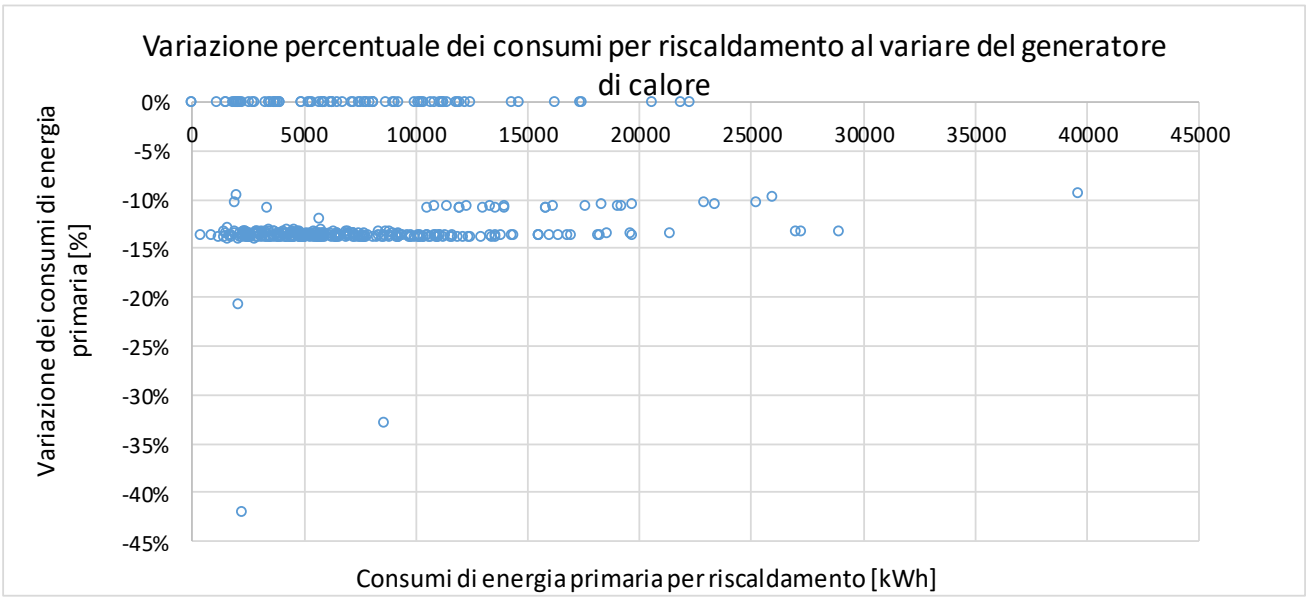


Figura 4.7 – Variazione dei consumi per riscaldamento al variare del generatore di calore.

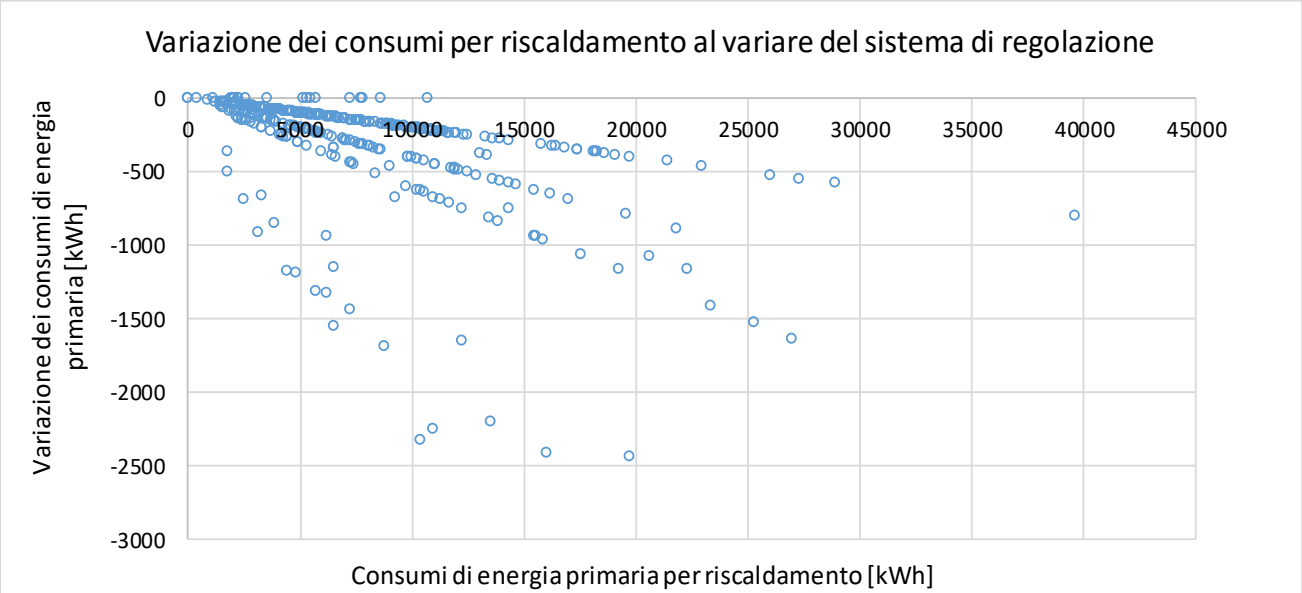


Figura 4.8 – Variazione dei consumi per riscaldamento al variare del generatore di calore.

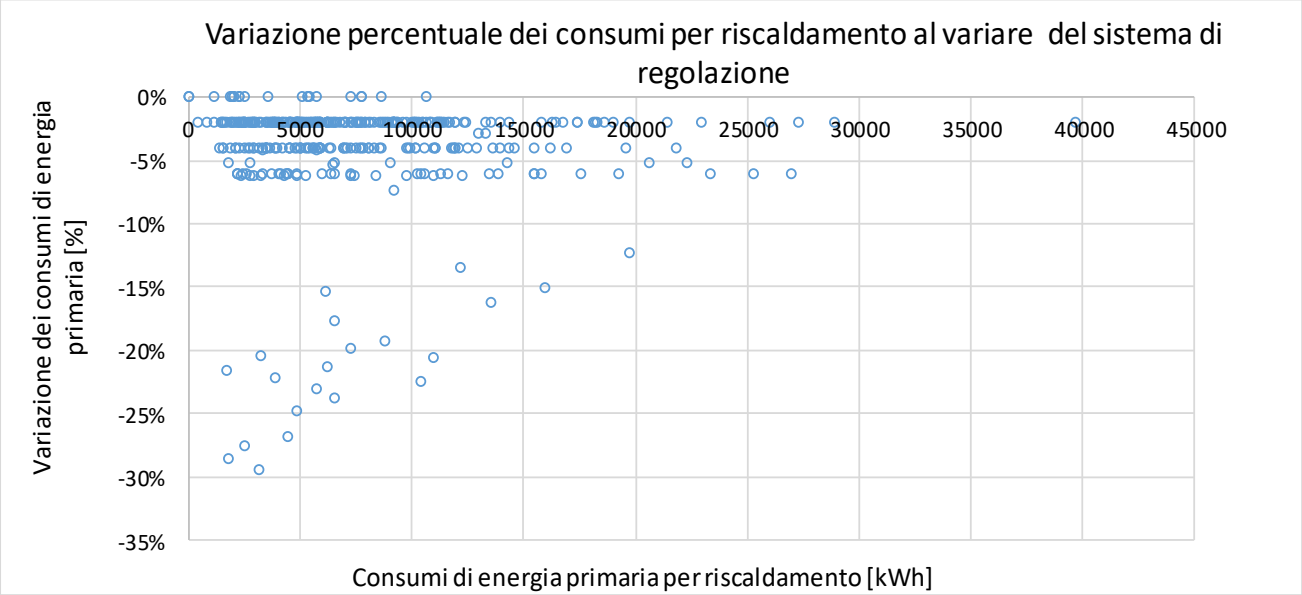


Figura 4.9 – Variazione dei consumi per riscaldamento al variare del generatore di calore.

4.2 Sensibilità dei consumi di raffrescamento ai dati di input

I consumi di raffrescamento sono influenzati da una pluralità di variabili, quali l'andamento climatico, le caratteristiche geometriche e fisico-tecniche delle pareti, il rendimento degli impianti di raffrescamento, le modalità di occupazione dell'abitazione, gli apporti di calore da sorgenti interne.

Si è cercato di valutare l'effetto sui consumi di raffrescamento della variazione dei seguenti input:

- temperatura esterna;
- temperatura interna;
- generatore di calore dell'impianto di raffrescamento.

Gli effetti di una variazione della variazione della temperatura esterna sono stati simulati attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo, considerando le seguenti variazioni:

- incremento di 0,5 °C della temperatura media giornaliera;
- incremento di 1 °C della temperatura media giornaliera;
- diminuzione di 0,5 °C della temperatura media giornaliera;
- diminuzione di 1 °C della temperatura media giornaliera.

Gli effetti di una variazione della variazione della temperatura interna sono stati simulati attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo, considerando le seguenti variazioni:

- incremento di 0,5 °C della temperatura interna di comfort;
- incremento di 1 °C della temperatura interna di comfort;
- diminuzione di 0,5 °C della temperatura interna di comfort;
- diminuzione di 1 °C della temperatura interna di comfort.

Gli effetti di una sostituzione del generatore dell'impianto di raffrescamento sono stati simulati attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo, considerando un'evoluzione dalla situazione inziale dichiarata nel foglio di calcolo verso la migliore situazione possibile tra gli input previsti nel foglio di calcolo, rappresentata in questo caso dalla Classe A+++; per questo motivo i risultati ottenuti devono essere intesi come massima variazione possibile a partire dal dato iniziale.

I risultati delle simulazioni sono riportati nei grafici di Figura 4.10, Figura 4.11, Figura 4.12, Figura 4.13, Figura 4.14 e Figura 4.15; le variazioni dei consumi di raffrescamento sono riportate in termini assoluti ed in termini percentuali in funzione dei consumi di energia primaria per raffrescamento.

In termini qualitativi si può ancora affermare, come già fatto per il riscaldamento che maggiori sono le variazioni della temperatura (esterna o interna, positive o negative) e maggiori sono le variazioni osservate relativamente ai consumi di raffrescamento.
Tuttavia, la correlazione in questo caso risulta decisamente più debole e per questo non è stata mostrata nessuna linea di tendenza.
Relativamente alla minore correlazione tra le variazioni della temperatura e i consumi di raffrescamento, una prima motivazione può essere individuata nella minore popolazione del campione, limitato alle sole abitazioni dotate di apparecchiature utili al raffrescamento (257 abitazioni, 68.5% del totale).

Una seconda, più forte motivazione, risiede invece nella diversa natura del carico termico estivo e quindi dei fabbisogni energetici connessi al raffrescamento; questi risultano influenzati sia da carichi esogeni sia da carichi endogeni e il loro rapporto determina in maniera significativa la durata del periodo di raffrescamento; al variare della temperatura (esterna o interna) tale rapporto può variare in modo significativo alterando in maniera anche importante il consumo energetico per raffrescamento.

Vale, inoltre, quanto già visto a proposito dei consumi di riscaldamento relativamente alla variabilità dei carichi nelle abitazioni con consumi energetici più bassi; per il raffrescamento, si è quasi universalmente in presenza di consumi bassi, soprattutto in ragione del fatto che, in generale, solo poche stanze dell'abitazione risultano climatizzate; di conseguenza, l'effetto di variazioni dei dati di input riferiti alla temperatura risulta difficilmente generalizzabile considerando casi diversi caratterizzati da una pluralità di input diversi.

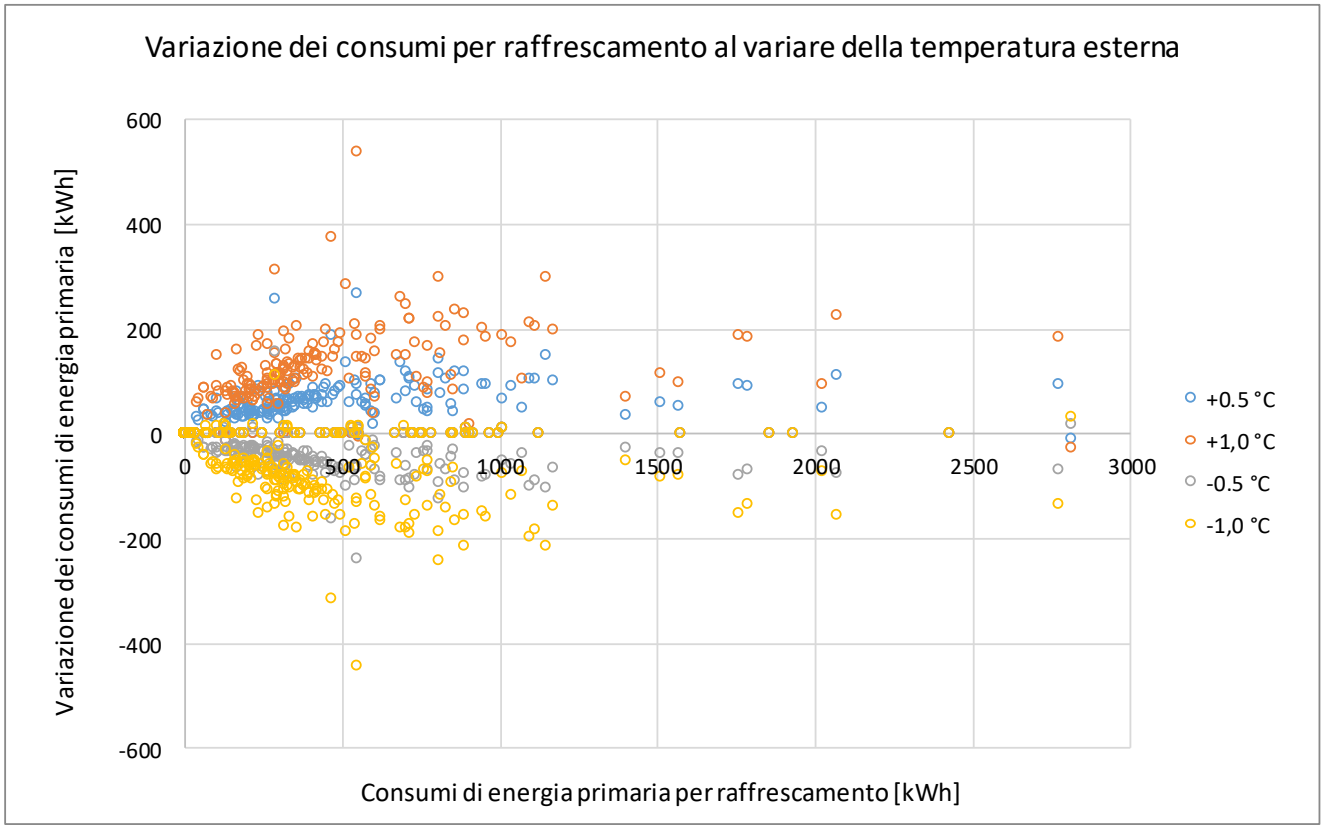


Figura 4.10 – Variazione dei consumi per raffrescamento al variare della temperatura esterna.

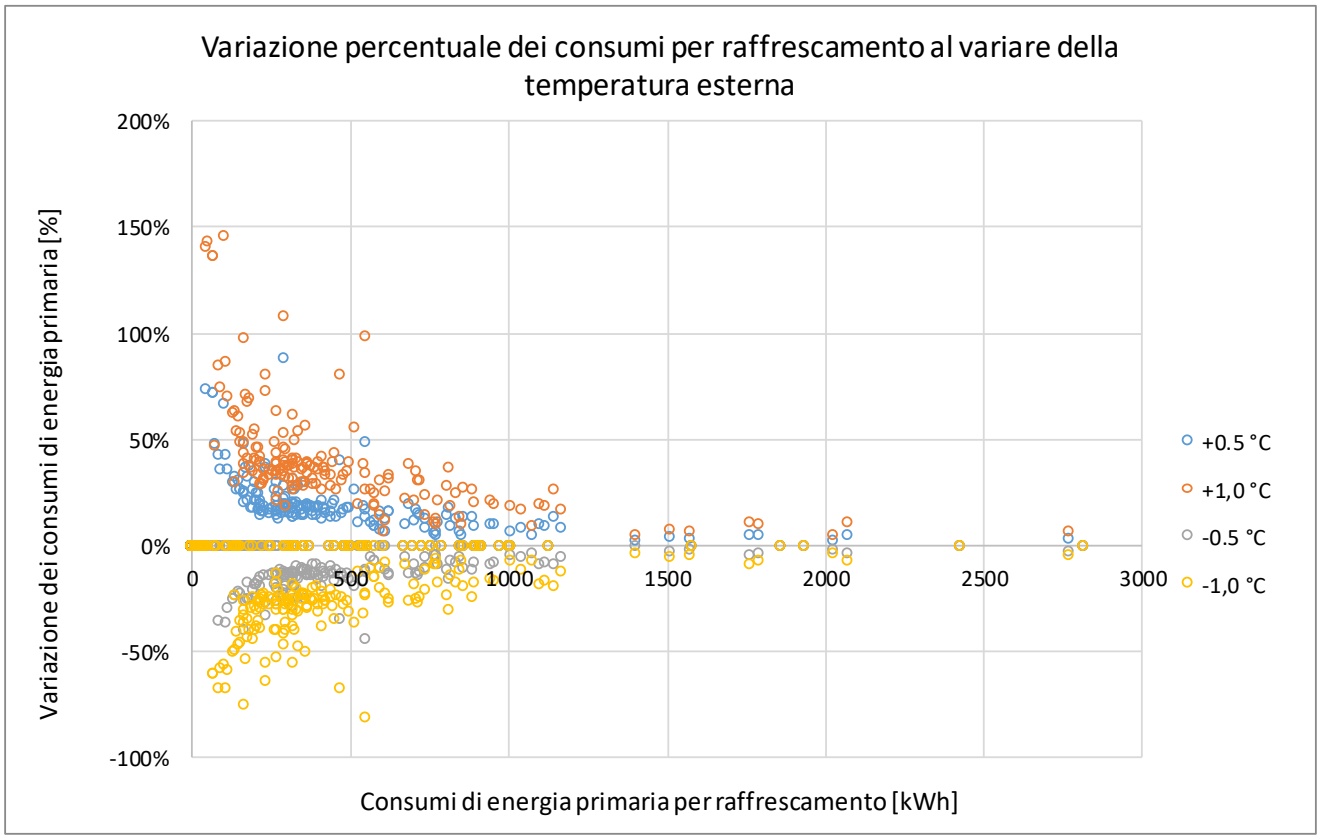


Figura 4.11 – Variazione percentuale dei consumi per raffrescamento al variare della temperatura esterna.

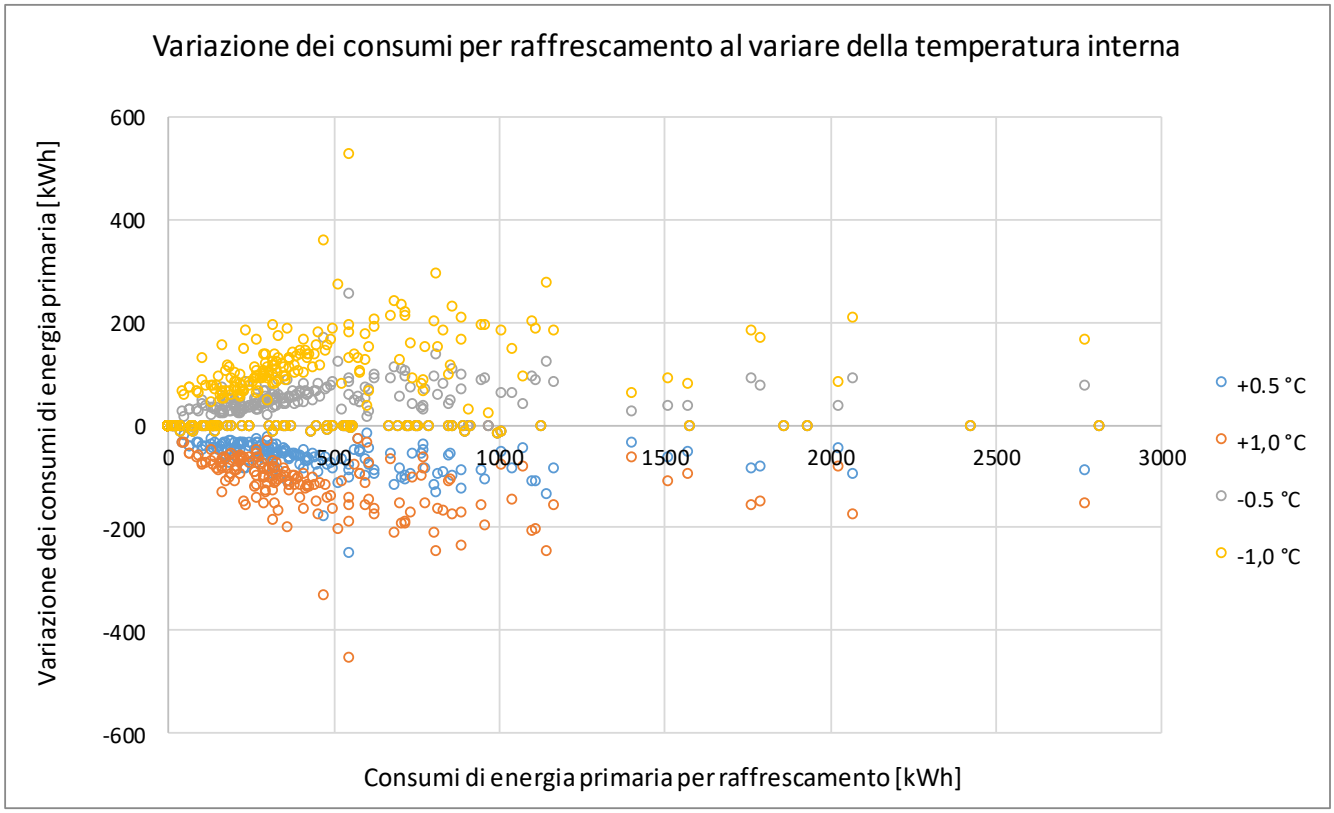


Figura 4.12 – Variazione dei consumi per raffrescamento al variare della temperatura interna.

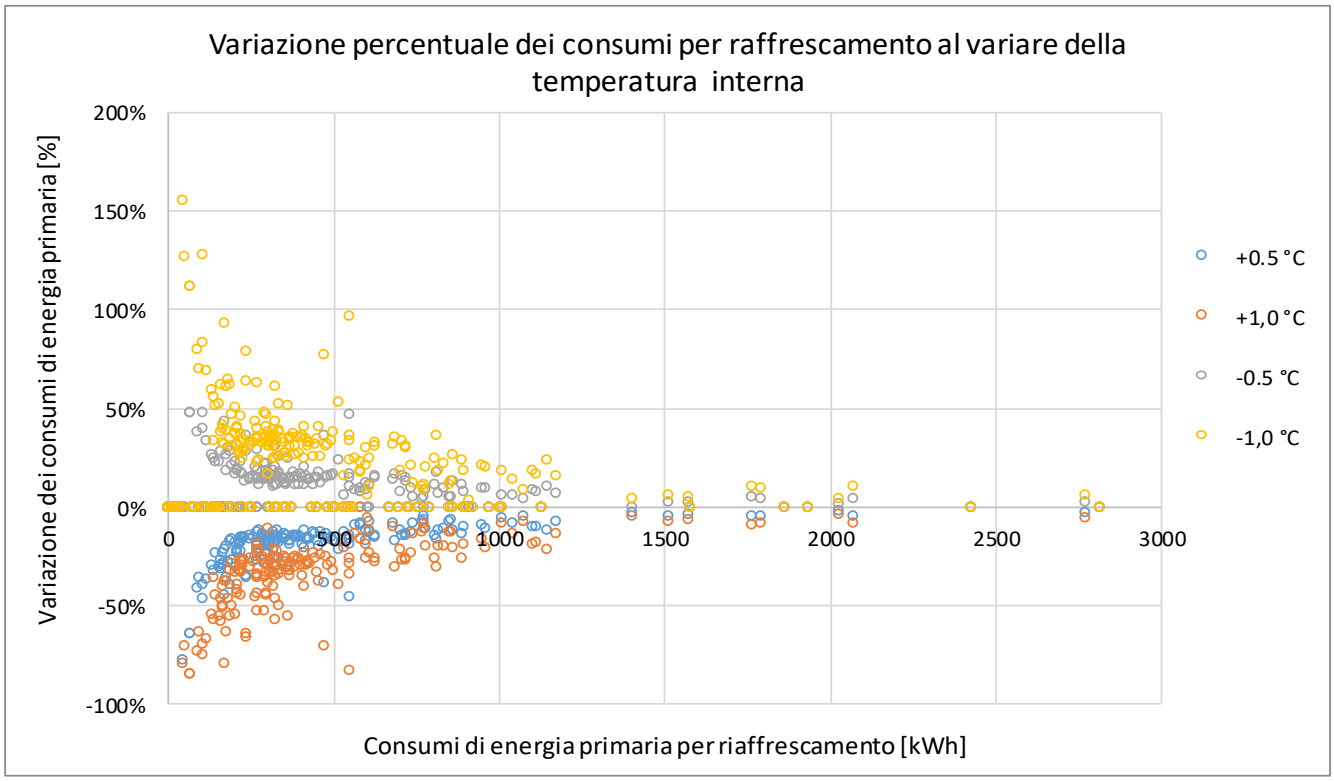


Figura 4.13 – Variazione dei consumi per raffrescamento al variare della temperatura interna.

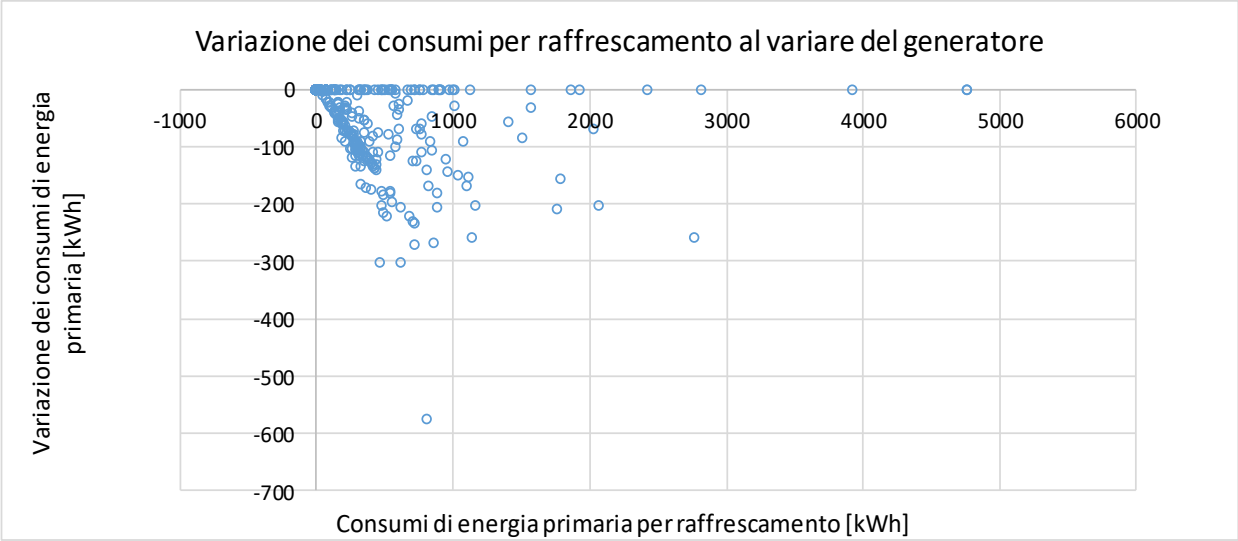


Figura 4.14 – Variazione dei consumi per raffrescamento al variare del generatore.

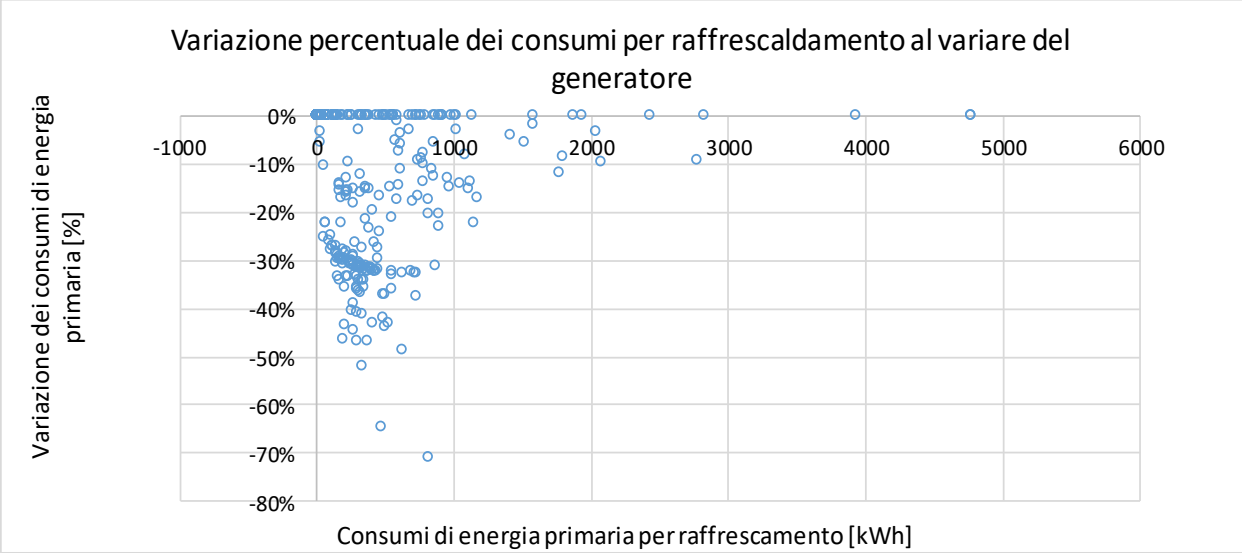


Figura 4.15 – Variazione dei consumi per raffrescamento al variare del generatore.

Analogamente a quanto effettuato per il riscaldamento, la sostituzione del generatore di calore è stata simulata considerando un'evoluzione dalla situazione inziale dichiarata nel foglio di calcolo verso la migliore situazione possibile tra gli input previsti nel foglio di calcolo.

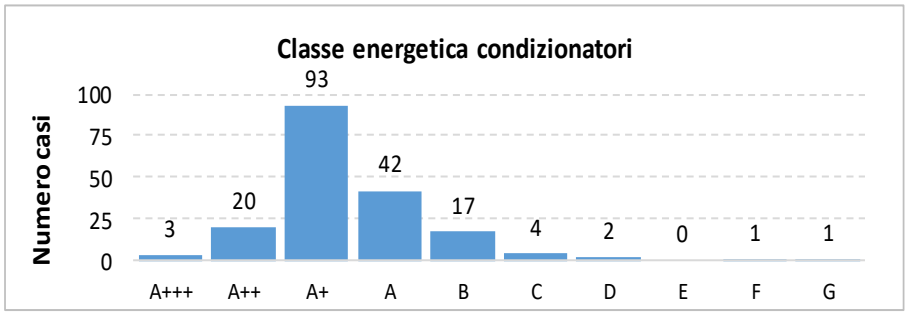


Figura 4.16 – Classe energetica dei condizionatori installati.

In questo caso, tuttavia, non si osserva lo stesso raggruppamento dei risultati osservato per il riscaldamento. La motivazione va ricercata nel fatto che il servizio di raffrescamento è limitato, generalmente, solo ad alcune stanze (vedi Figura 3.14), incidendo quindi in maniera diversa da un'abitazione all'altra.

4.3 Effetto di interventi riqualificazione energetica sull'involucro edilizio

Una riqualificazione energetica dell'involucro edilizio ha effetti positivi sulla prestazione energetica dell'abitazione, portando ad una riduzione del fabbisogno di energia utile sia nella stagione invernale di riscaldamento, sia nella stagione estiva di raffrescamento.
Gli effetti di una riqualificazione energetica dell'involucro edilizio sono stati simulati attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo; in particolare sono stati considerate le seguenti possibili riqualificazioni:

- isolamento delle pareti opache verticali;
- isolamento del soffitto di copertura;
- isolamento del pavimento;
- sostituzione degli infissi.

I risultati delle simulazioni sono riportati nei grafici di Figura 4.17, Figura 4.18, Figura 4.19, Figura 4.20, Figura 4.21, Figura 4.22, Figura 4.23 e Figura 4.24; le variazioni della somma dei consumi di riscaldamento raffrescamento sono riportate in termini assoluti ed in termini percentuali in funzione dei consumi di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento.

In tutti i casi a seguito della riqualificazione energetica si ha una riduzione dei consumi di riscaldamento e raffrescamento. Tuttavia, non è possibile individuare una correlazione utile a generalizzare l'efficacia dell'intervento specifico sui consumi energetici.
Le motivazioni sono molteplici, a cominciare dall'interazione tra carichi esogeni e carichi endogeni già descritta in precedenza. In questo caso, poi, va considerata la particolare (del singolo caso) rilevanza dell'elemento riqualificato sui consumi energetici dell'edificio, funzione di particolari (del singolo caso) variabili geometriche e fisico-tecniche.

Nei diversi grafici sono anche riportate delle linee di tendenza, con la relativa equazione e accompagnate dall'indicazione relativa alla correlazione dei dati.
Nel leggere i grafici si tenga presente che il campione di volta in volta ha un'estensione diversa, in ragione del fatto che non sono stati considerati gli interventi ad efficacia nulla, ovvero quelle abitazioni nelle quali l'elemento edilizio considerato non è migliorabile, essendo confinante con un altro appartamento e quindi non disperdente, oppure essendo già isolato in maniera adeguata; in particolare:

- relativamente all'intervento di isolamento delle pareti opache verticali, il campione è composto da 361 abitazioni (96.3% del totale);
- relativamente all'intervento di isolamento del soffitto di copertura, il campione è composto da 150 abitazioni (40.0% del totale);
- relativamente all'intervento di isolamento del pavimento, il campione è composto da 128 abitazioni (34.1% del totale);
- relativamente all'intervento di sostituzione degli infissi, il campione è composto da 353 abitazioni (94.1% del totale).

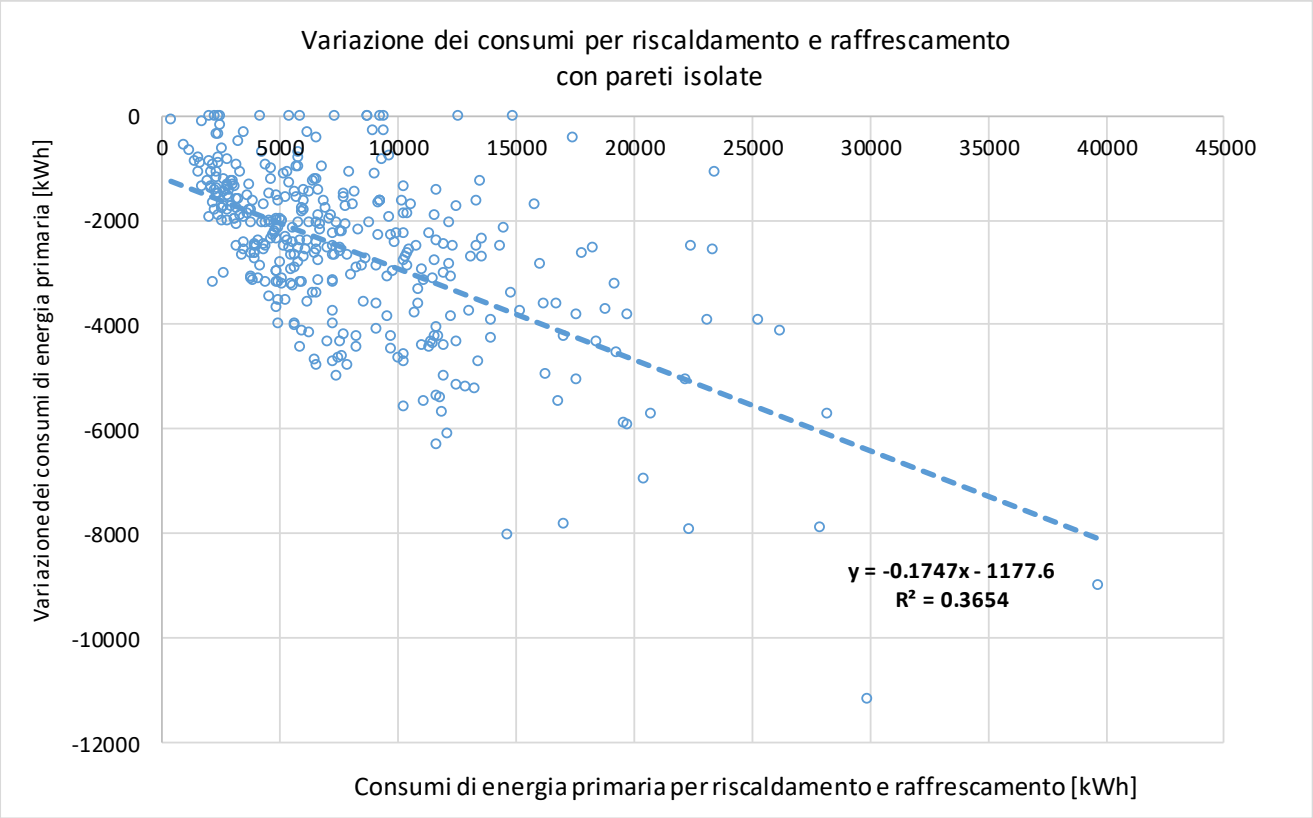


Figura 4.17 – Variazione dei consumi per riscaldamento e raffrescamento con pareti isolate.

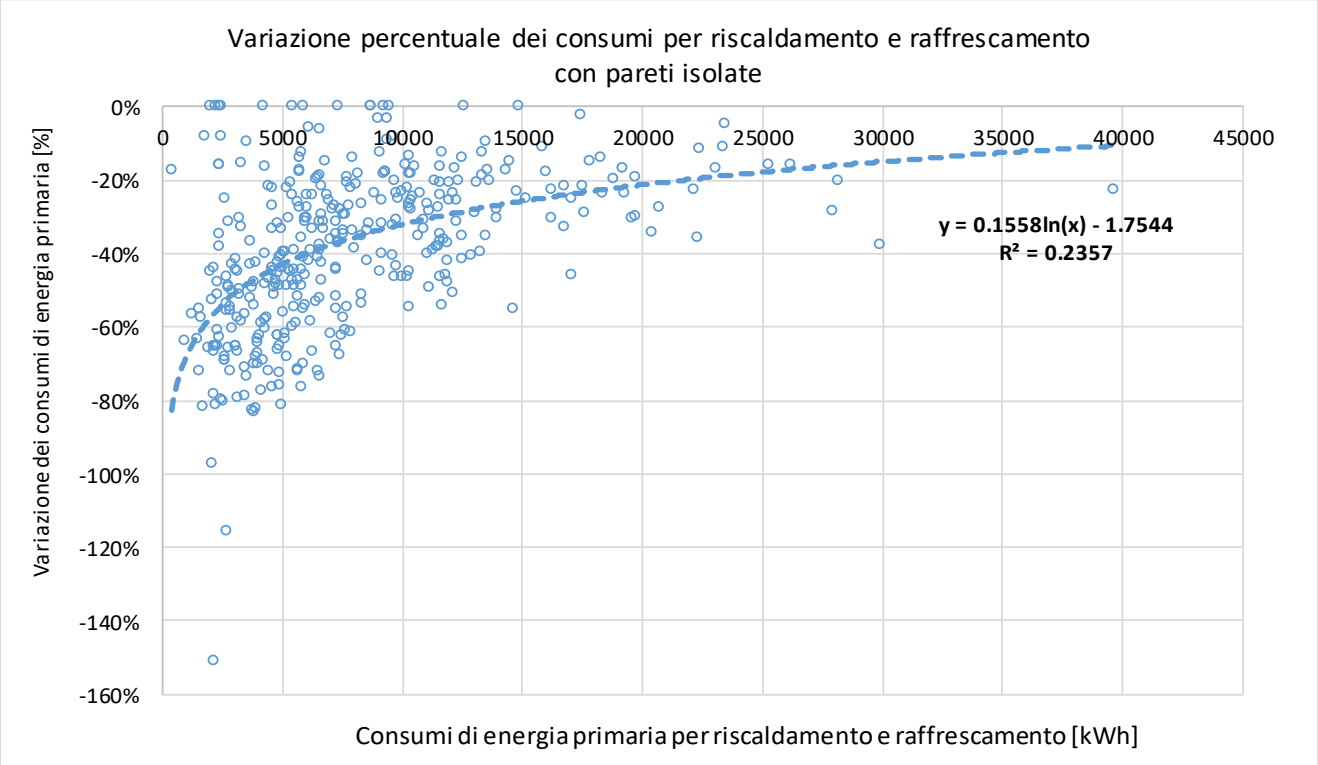


Figura 4.18 – Variazione percentuale dei consumi per riscaldamento e raffrescamento con pareti isolate.

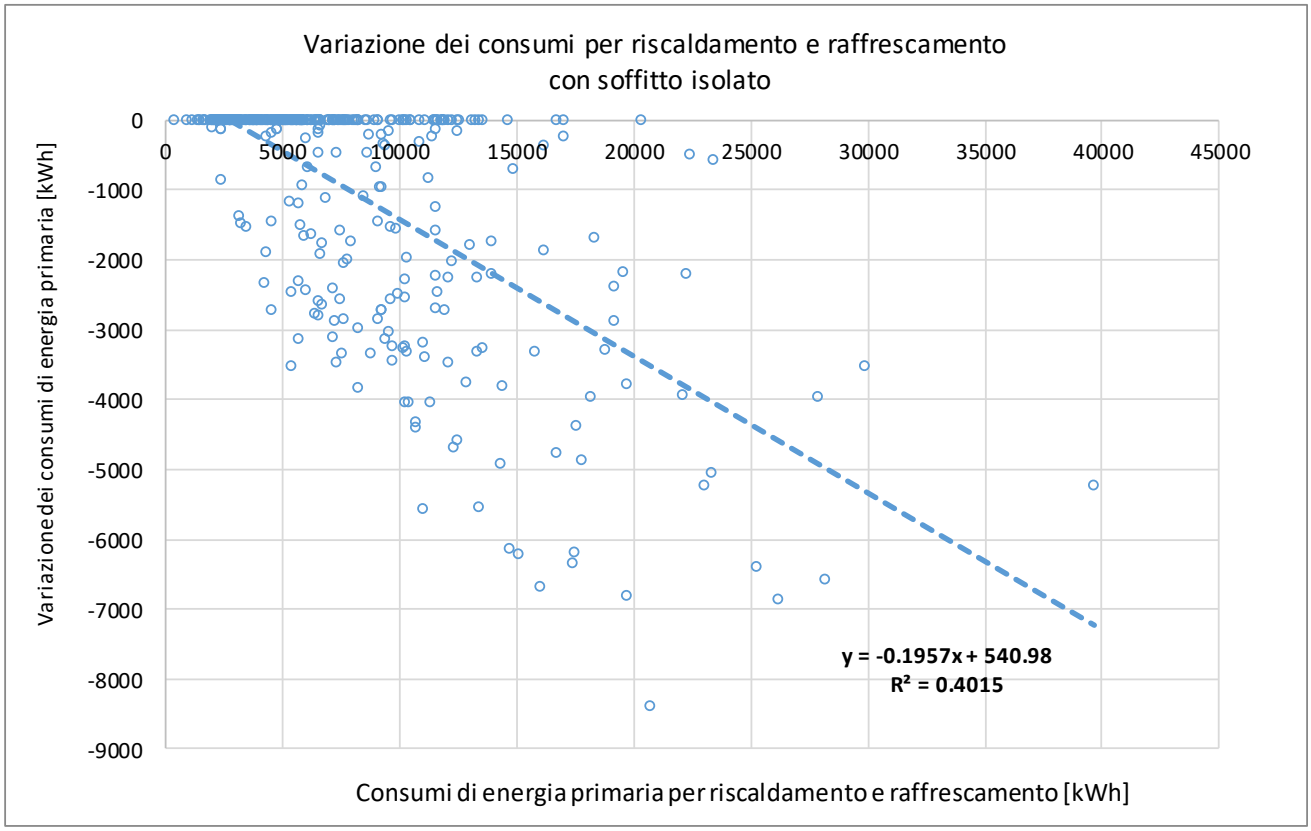


Figura 4.19 – Variazione dei consumi per riscaldamento e raffrescamento con soffitto isolato.

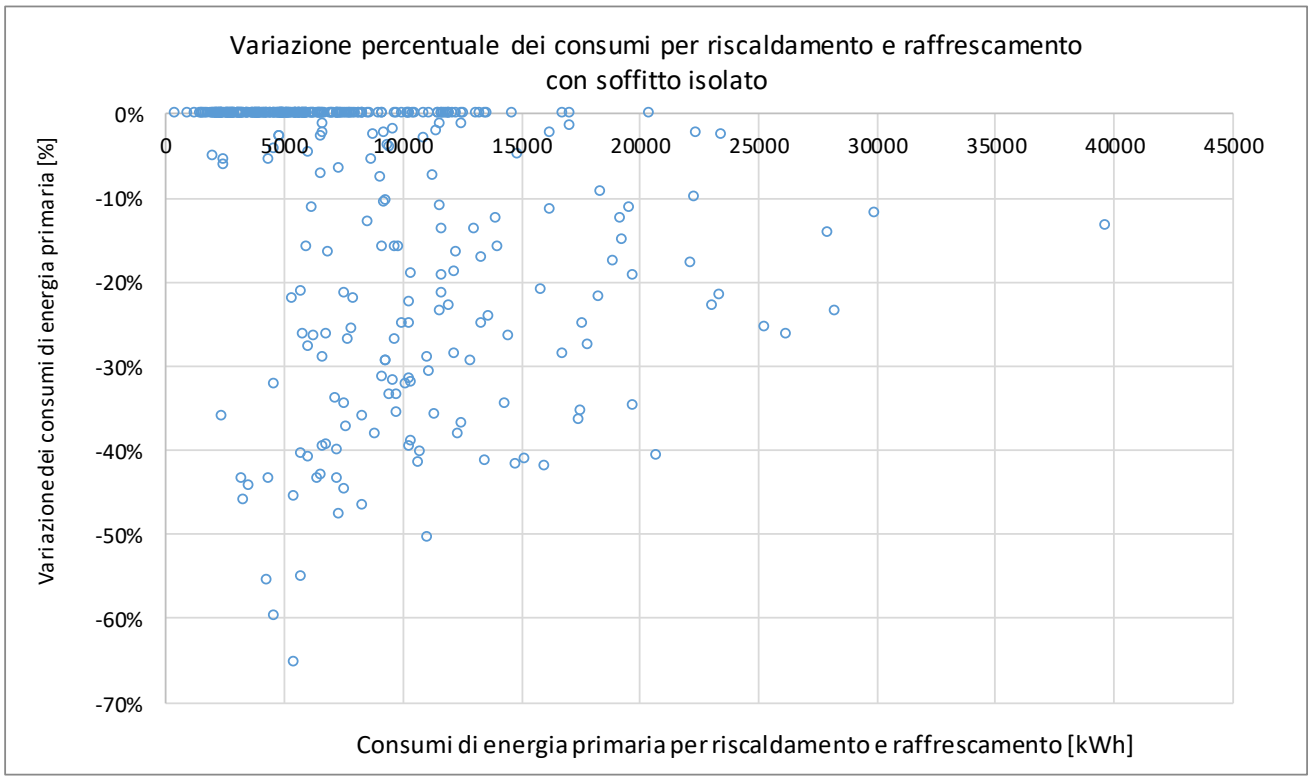


Figura 4.20 – Variazione percentuale dei consumi per riscaldamento e raffrescamento con soffitto isolato.

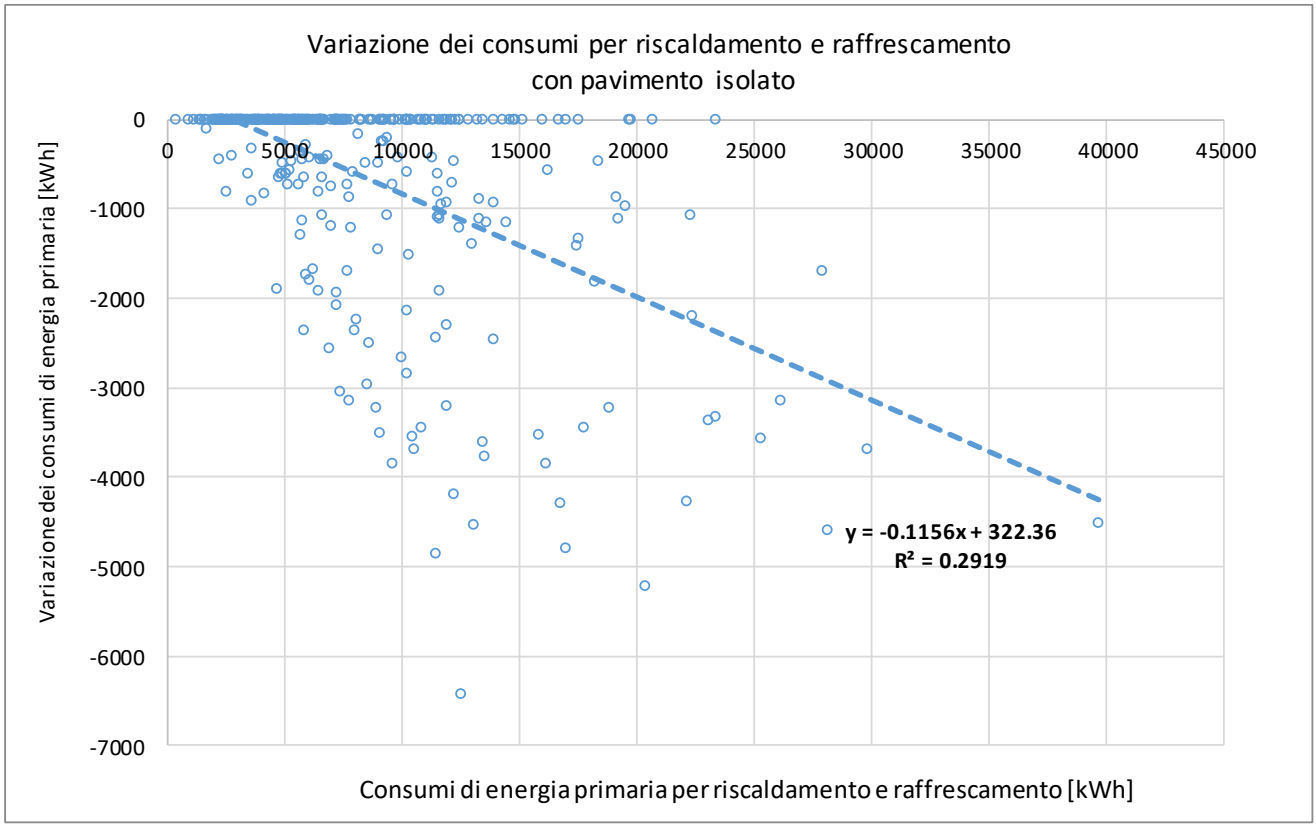


Figura 4.21 – Variazione dei consumi per riscaldamento e raffrescamento con pavimento isolato.

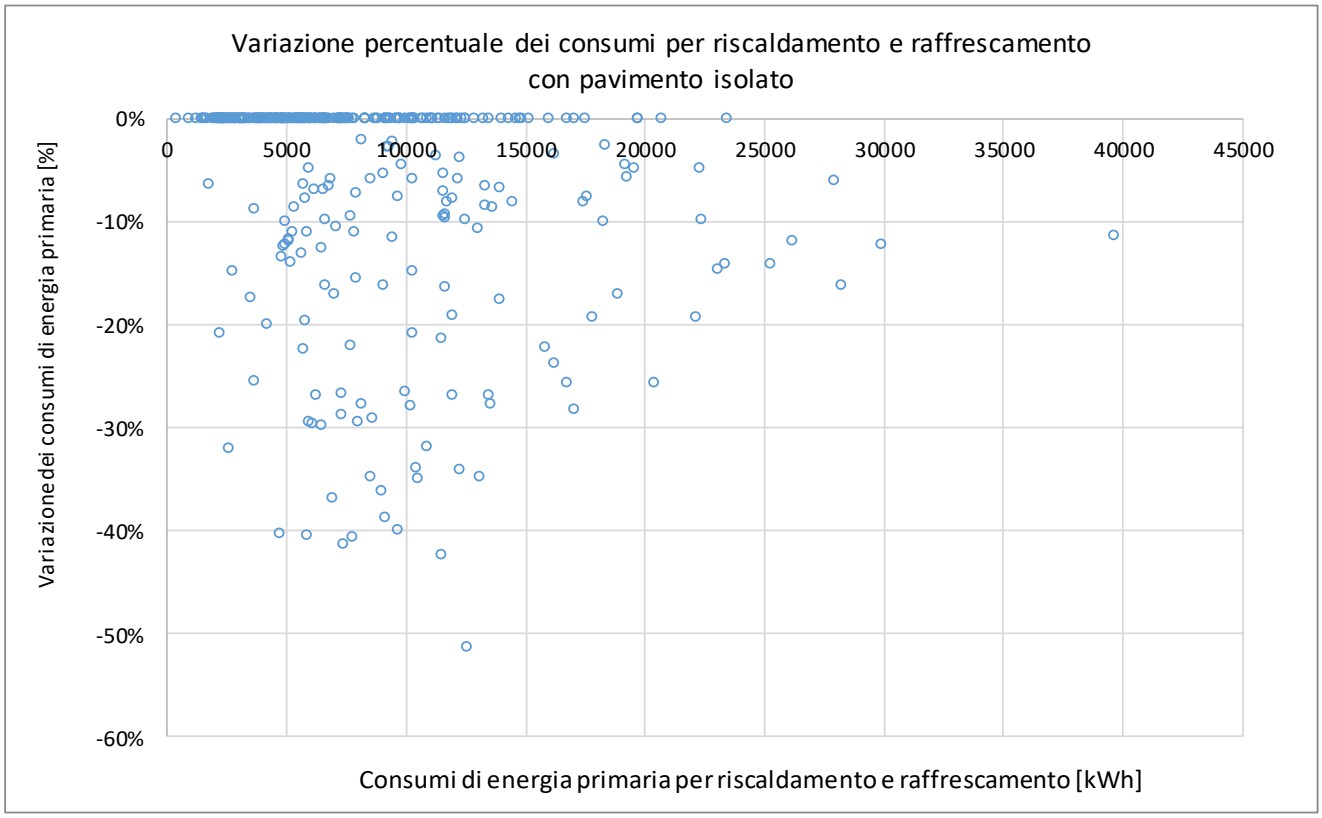


Figura 4.22 – Variazione percentuale dei consumi per riscaldamento e raffrescamento con pavimento isolato.

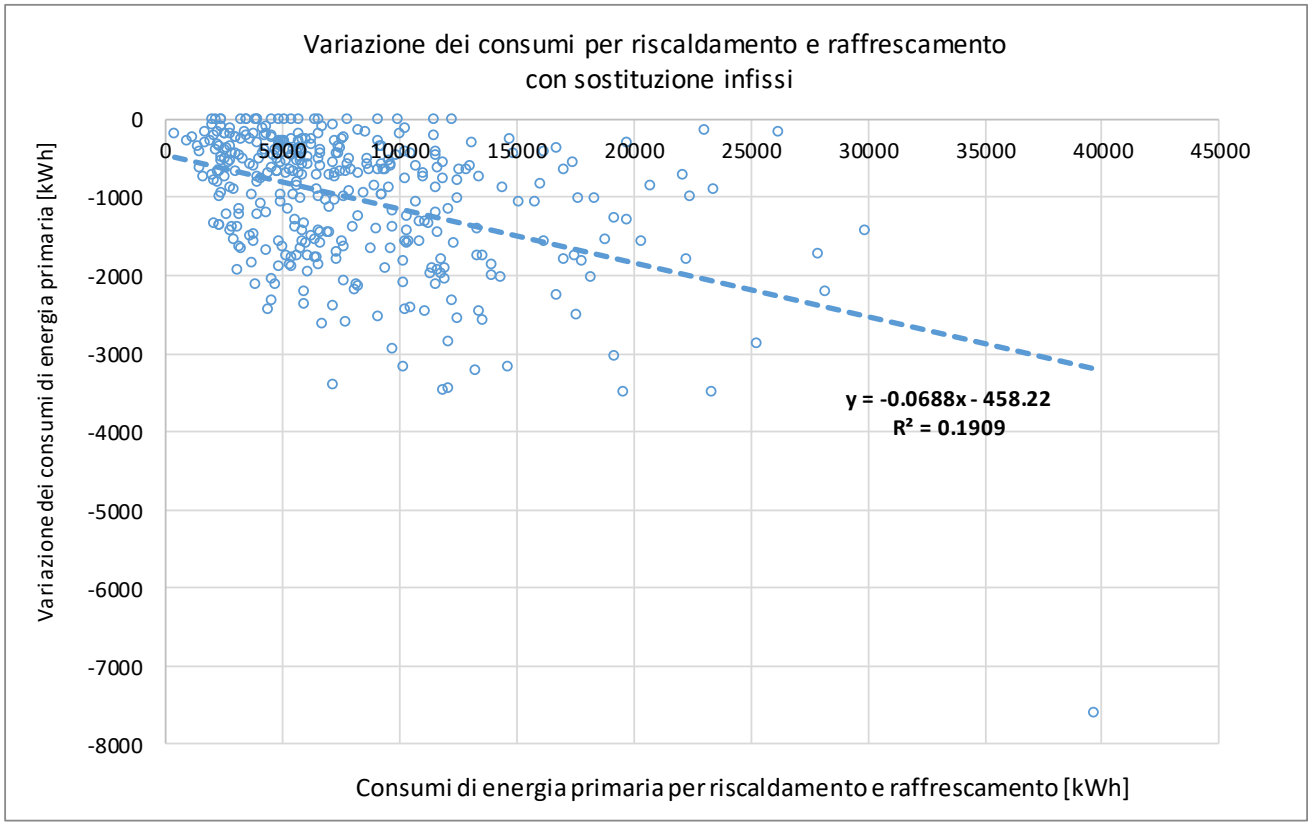


Figura 4.23 – Variazione dei consumi per riscaldamento e raffrescamento con sostituzione infissi.

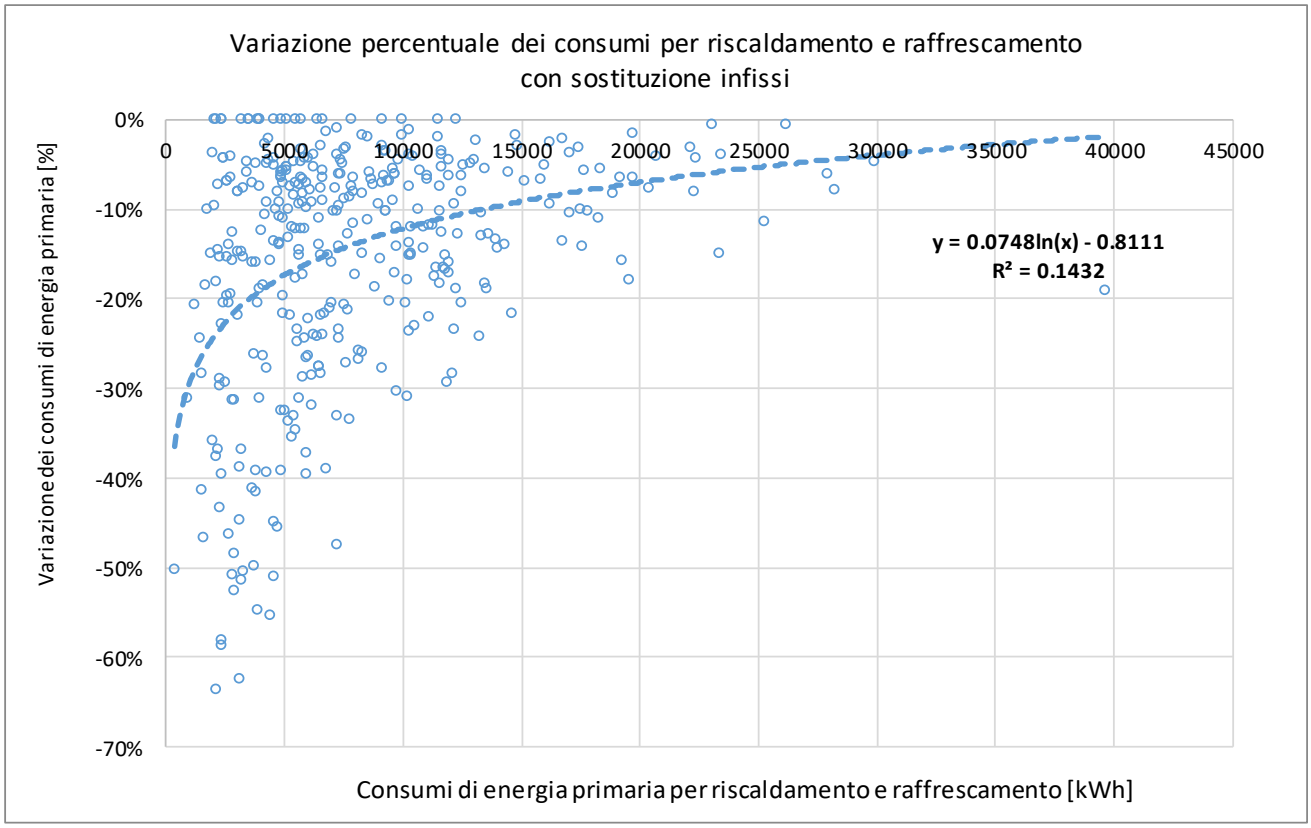


Figura 4.24 – Variazione percentuale dei consumi per riscaldamento e raffrescamento con sostituzione infissi.

4.4 Sostituzione del generatore per la preparazione dell'acqua calda sanitaria

Gli effetti di una sostituzione del generatore dell'impianto di preparazione dell'acqua calda sanitaria sono stati simulati attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo, considerando un'evoluzione dalla situazione inziale dichiarata nel foglio di calcolo verso la migliore situazione possibile tra gli input previsti nel foglio di calcolo, mantenendo lo stesso vettore energetico; per gli impianti alimentati a gas è stata considerata l'introduzione di una caldaia a condensazione con accumulo integrato; per gli impianti alimentati elettricamente è stata considerata l'introduzione di uno scaldabagno a pompa di calore.
I risultati delle simulazioni sono riportati nei grafici di Figura 4.25e di Figura 4.26; le variazioni dei consumi di energia primaria per la preparazione di acqua calda sanitaria sono riportate in termini assoluti ed in termini percentuali in funzione dei consumi di energia primaria per la preparazione di acqua calda sanitaria.
Osservando i grafici si nota immediatamente come i risultati siano molto raggruppati, con un numero di gruppi che corrisponde alle possibili variazioni dei dati di input offerte dal foglio di calcolo. Si ricordi inoltre che tra i 320 sistemi alimentati a gas, 30 prevedono già una caldaia a condensazione con accumulo integrato e che tra i 55 sistemi alimentati elettricamente, 8 prevedono già uno scaldabagno a pompa di calore.

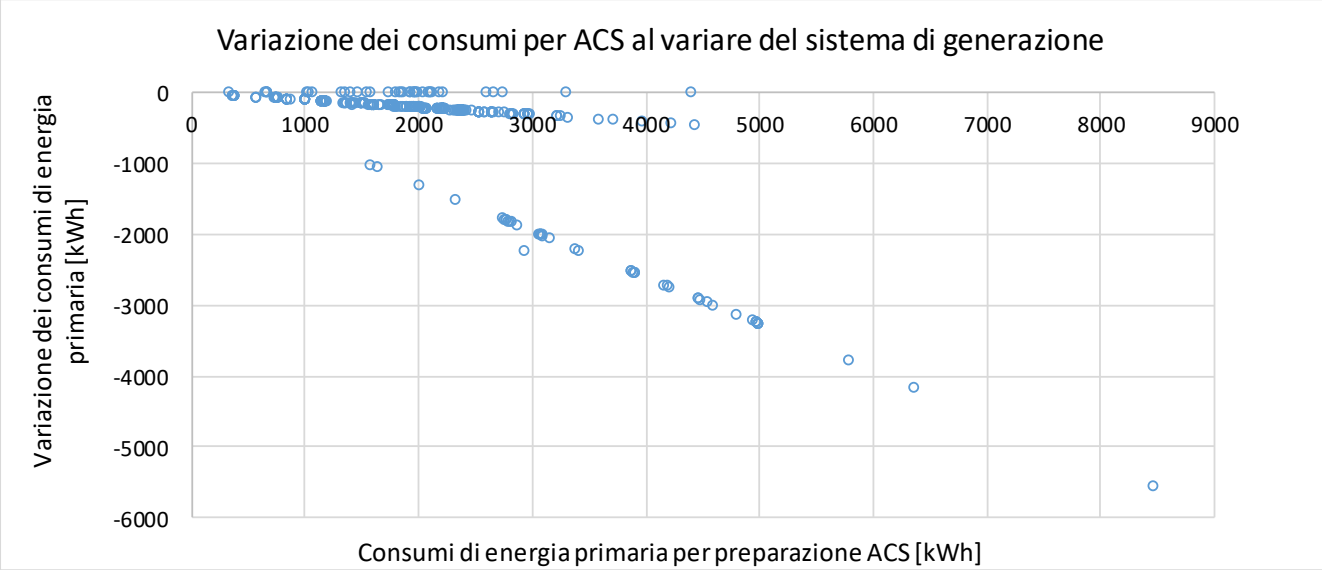


Figura 4.25 – Variazione dei consumi per ACS al variare del generatore.

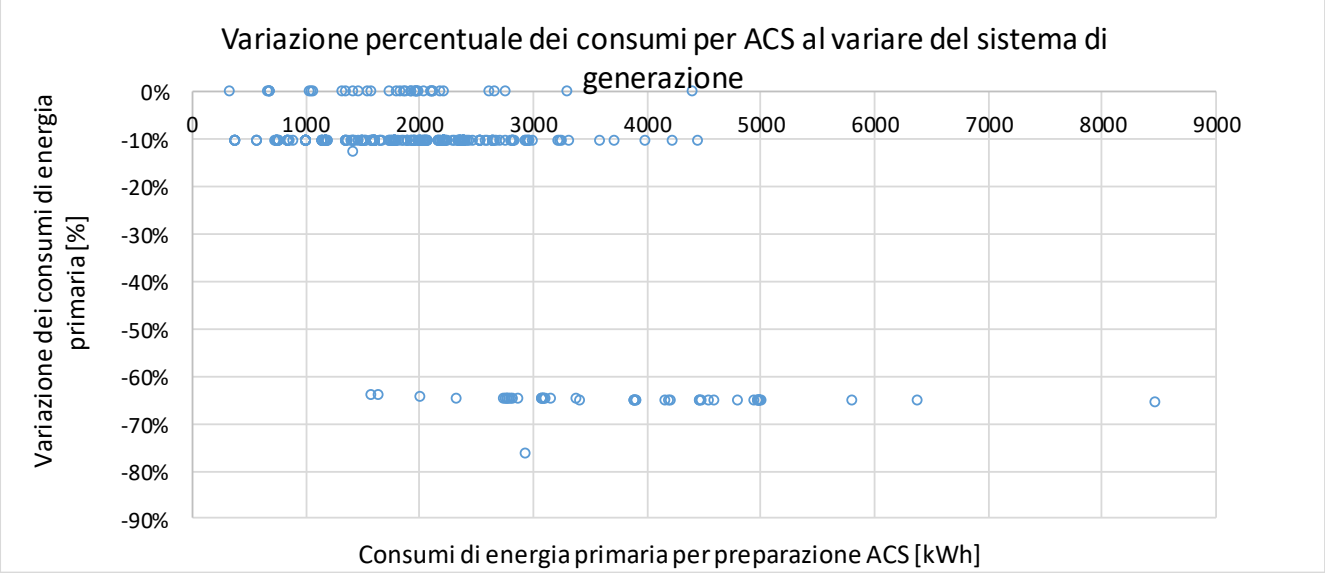


Figura 4.26 – Variazione percentuale dei consumi per ACS al variare del generatore.

La sostituzione degli scaldabagni elettrici con scaldabagni a pompa di calore, comporta anche una riduzione dei consumi elettrici accumulabili; nelle abitazioni servite da scaldabagno alimentato elettricamente, i carichi accumulabili passano da 1661 kWh/abitazione a 711 kWh/abitazione.

4.5 Sostituzione dei grandi elettrodomestici

Sono stati anche valutati gli effetti di una sostituzione dei grandi elettrodomestici (frigoriferi e congelatori, lavatrice, lavastoviglie, asciugatrice); anche in questo caso si è proceduto attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo, considerando un'evoluzione dalla situazione inziale dichiarata nel foglio di calcolo verso la migliore situazione possibile tra gli input previsti nel foglio di calcolo, rappresentata in questo caso dalla Classe A+++; per questo motivo i risultati ottenuti devono essere intesi come massima variazione possibile a partire dal dato iniziale.

Il risparmio energetico che si ottiene, in tutti i casi, dipende dalla situazione di partenza ed è funzione del salto di classe del caso specifico. A tal proposito, nei grafici di Figura 4.27 sono riportate le classi energetiche degli elettrodomestici attualmente presenti nelle abitazioni considerate.

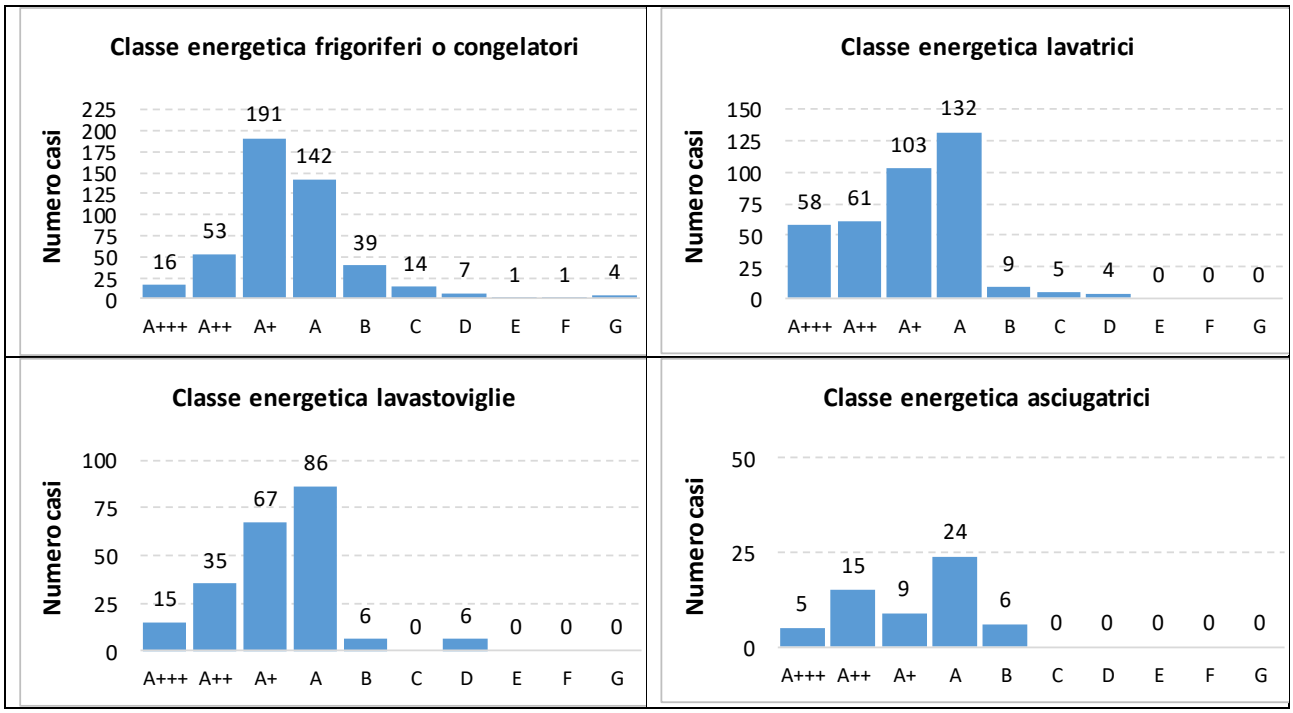


Figura 4.27 – Classe energetica degli elettrodomestici presenti nelle abitazioni considerate.

I risultati delle simulazioni relativi alla sostituzione dei grandi elettrodomestici sono riportati nei grafici di Figura 4.28 e di Figura 4.29 per frigoriferi e congelatori, nei grafici di Figura 4.30 e Figura 4.31 per le lavatrici, nei grafici di Figura 4.32 e di Figura 4.33, nei grafici di Figura 4.34 e di Figura 4.35 per le asciugatrici; analogamente a quanto effettuato in precedenza, le variazioni dei consumi di energia primaria sono riportate in termini assoluti ed in termini percentuali in funzione dei soli consumi di energia primaria degli elettrodomestici.

Osservando i grafici si nota ancora un raggruppamento dei risultati, con un numero di gruppi che corrisponde alle possibili variazioni dei dati di input offerte dal foglio di calcolo.

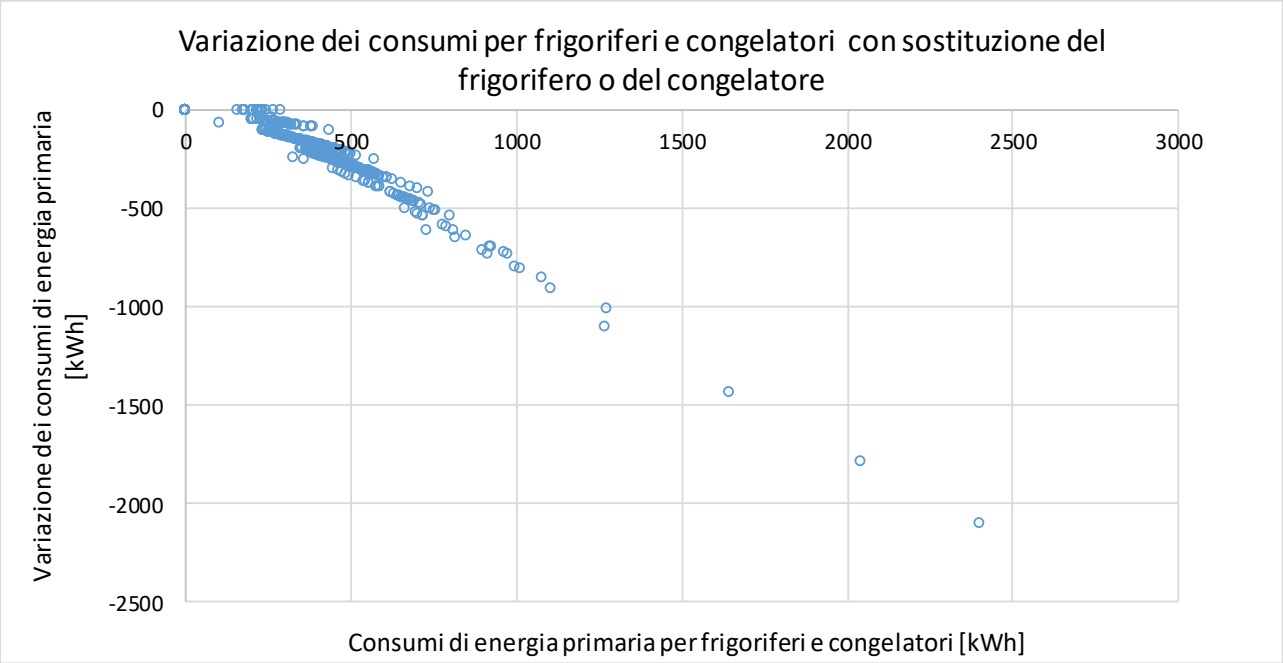


Figura 4.28 – Variazione dei consumi per refrigerazione con sostituzione del frigorifero o del congelatore.

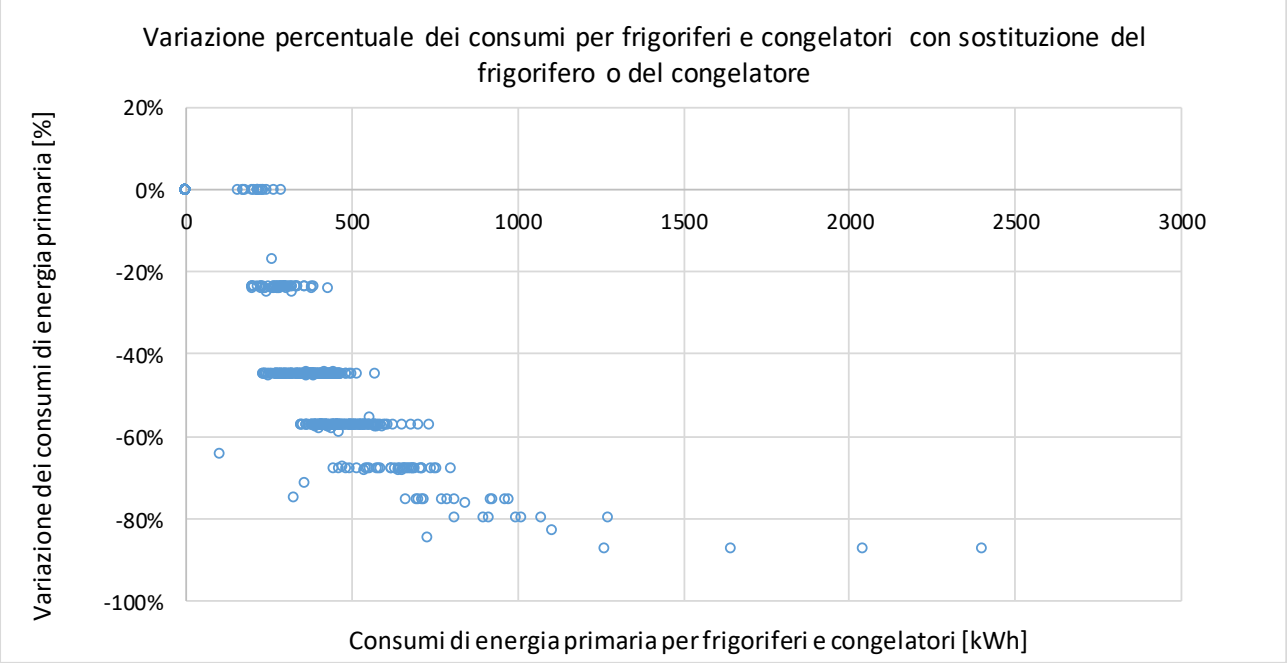


Figura 4.29 – Variazione dei consumi per refrigerazione con sostituzione del frigorifero o del congelatore.

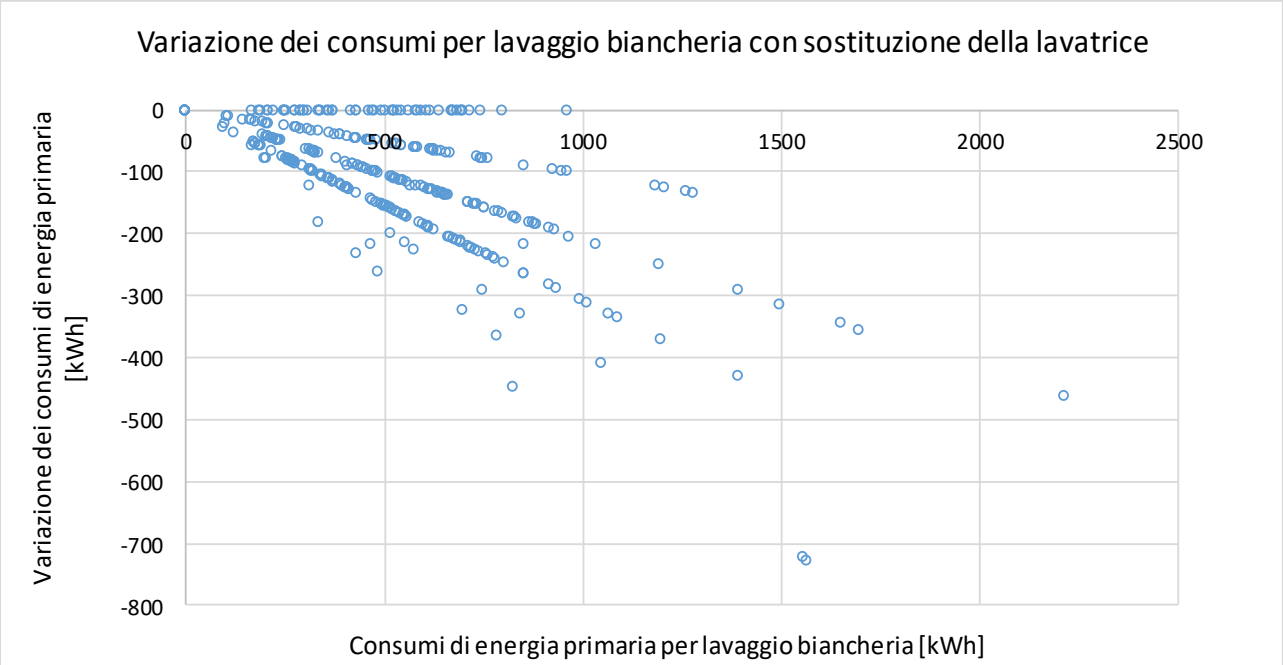


Figura 4.30 – Variazione dei consumi per lavaggio biancheria con sostituzione della lavatrice.

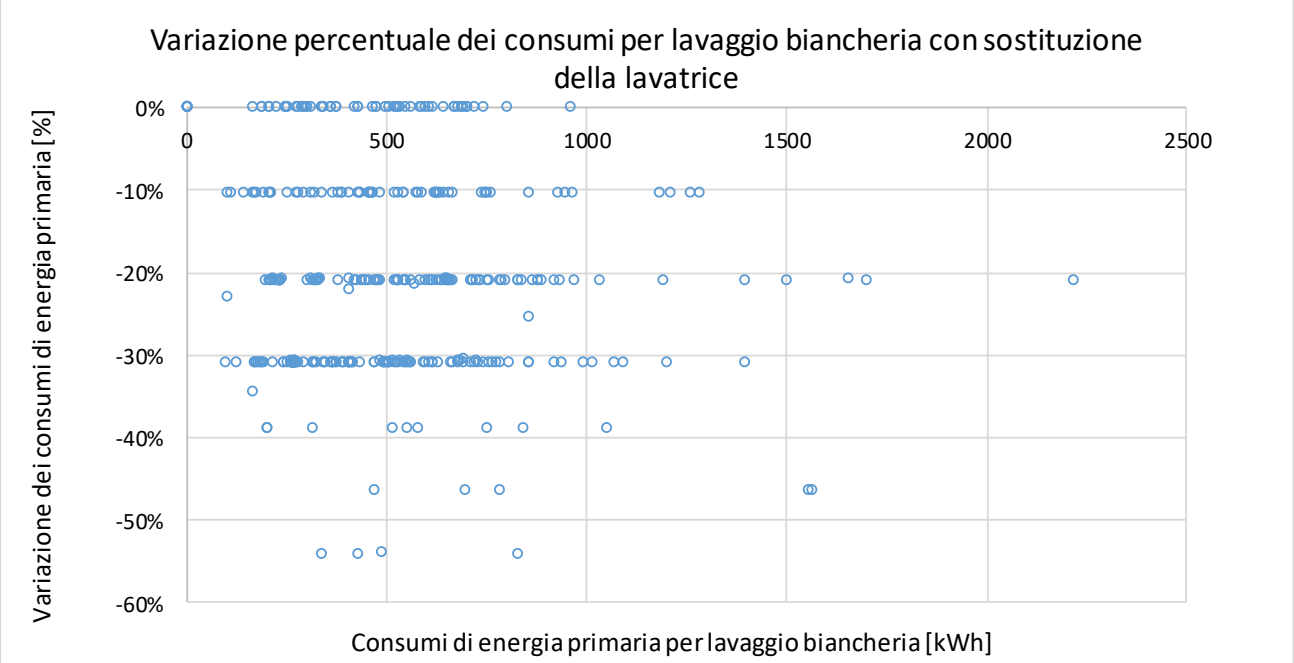


Figura 4.31 – Variazione percentuale dei consumi per lavaggio biancheria con sostituzione della lavatrice.

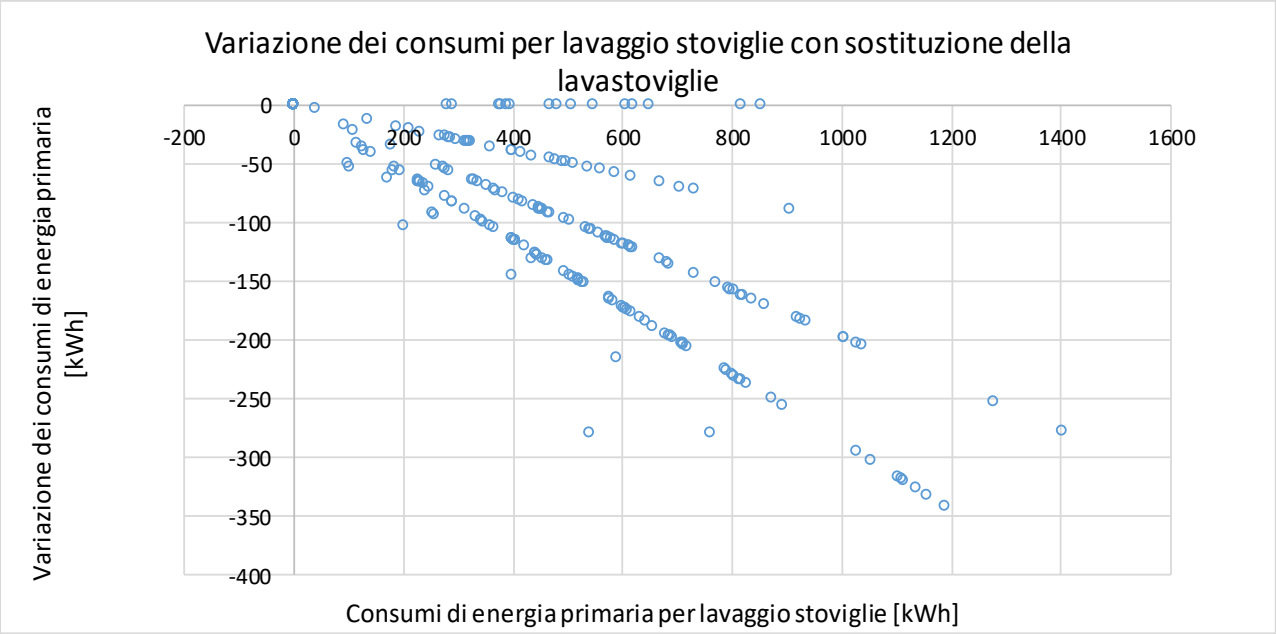


Figura 4.32 – Variazione dei consumi per lavaggio stoviglie con sostituzione della lavastoviglie.

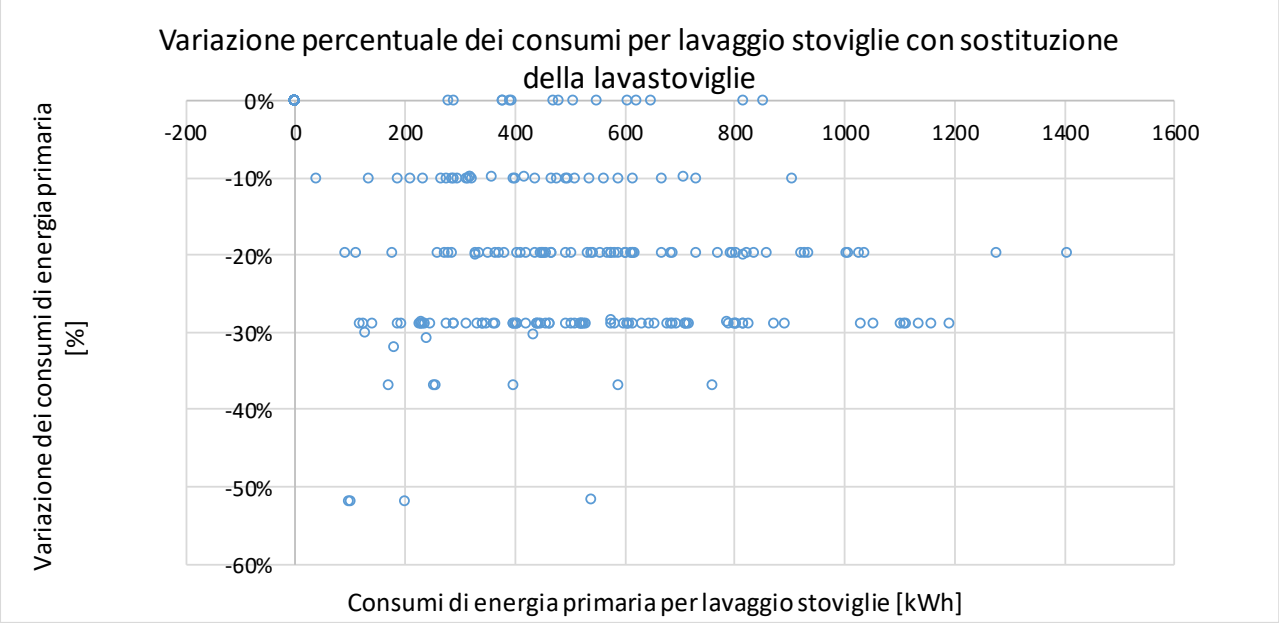


Figura 4.33 – Variazione percentuale dei consumi per lavaggio stoviglie con sostituzione della lavastoviglie.

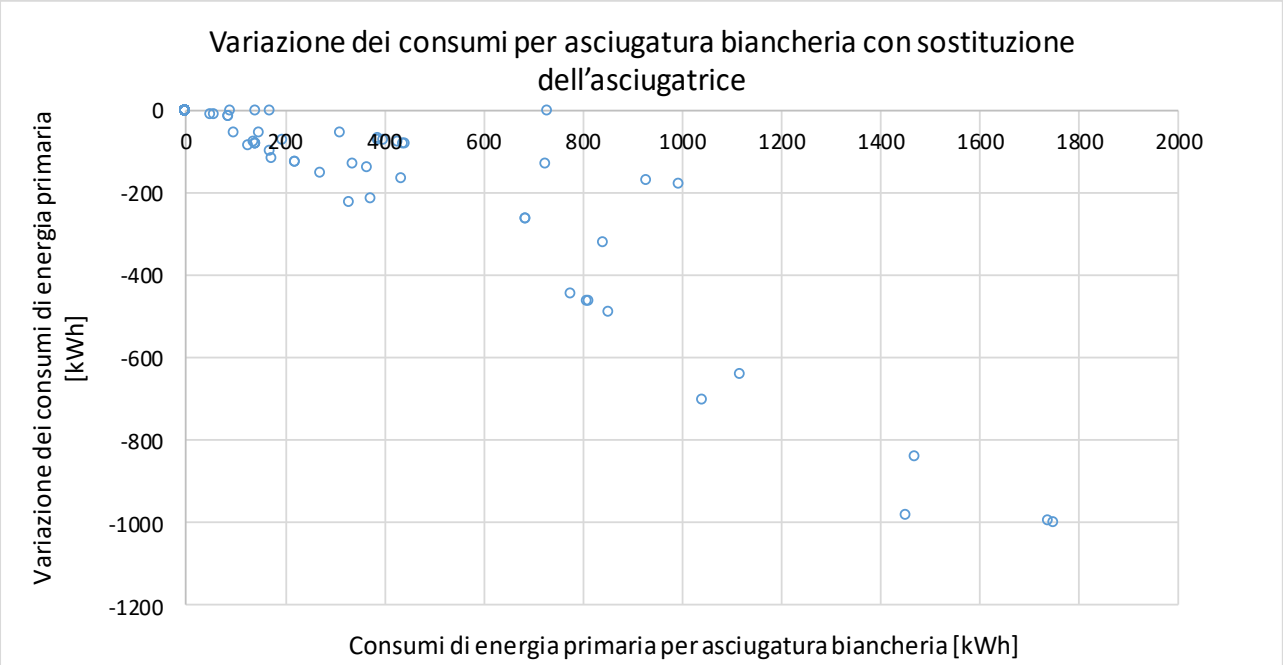


Figura 4.34 – Variazione dei consumi per asciugatura biancheria con sostituzione dell'asciugatrice.

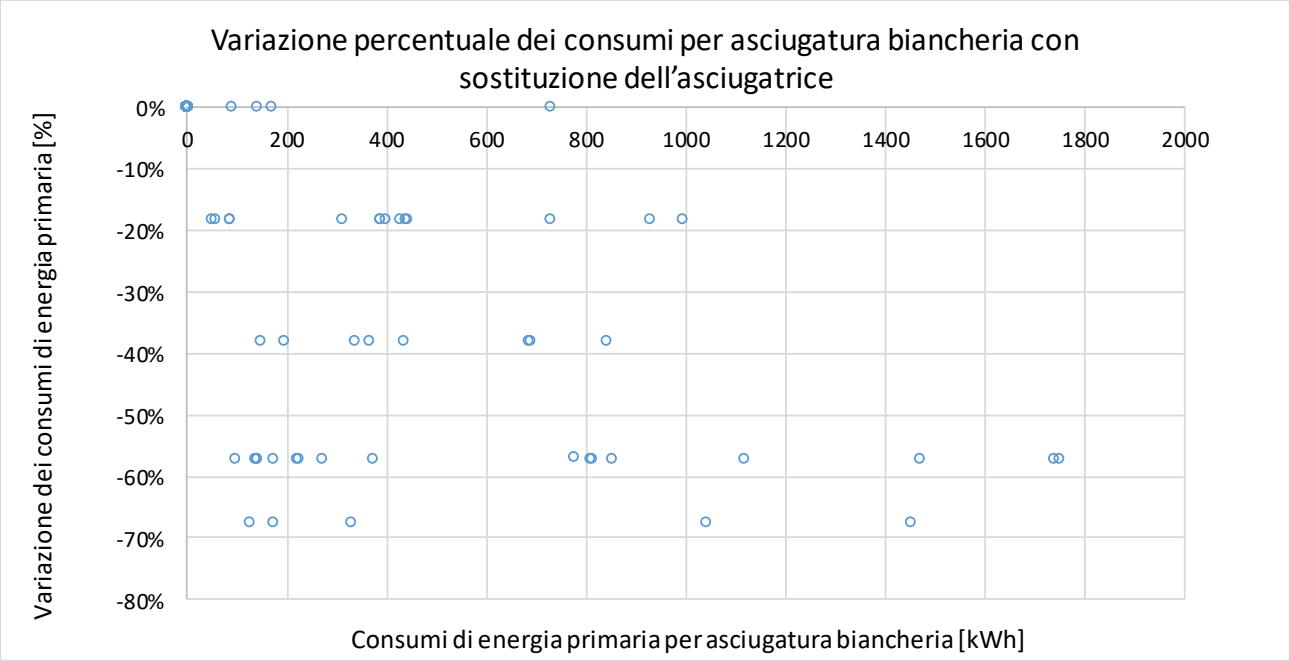


Figura 4.35 – Variazione percentuale dei consumi per asciugatura biancheria con sostituzione dell'asciugatrice.

Relativamente all'entità dei carichi differibili:

- la sostituzione della lavatrice comporta una riduzione dei consumi elettrici differibili mediamente pari a 49 kWh/abitazione;
- la sostituzione della lavastoviglie comporta una riduzione dei consumi elettrici differibili mediamente pari a 51 kWh/abitazione;
- la sostituzione dell'asciugatrice comporta una riduzione dei consumi elettrici differibili mediamente pari a 87 kWh/abitazione.

4.6 Illuminazione

Si è proceduto anche a valutare gli effetti di una sostituzione delle lampade; anche in questo caso si è proceduto attraverso una variazione del dato di input sui fogli di calcolo, considerando un'evoluzione dalla situazione inziale dichiarata nel foglio di calcolo verso la migliore situazione possibile tra gli input previsti nel foglio di calcolo, rappresentata in questo caso da lampade a LED.

Il risparmio energetico che si ottiene, in tutti i casi, dipende dalla situazione di partenza ed è funzione del "salto di tipologia" delle lampade caso per caso. In questo caso, raramente si è riscontrata la presenza di lampade tutte della medesima tipologia, essendo decisamente più frequente il caso di una pluralità di tipologie all'interno delle abitazioni.
In Figura 4.32 è riportata una suddivisione percentuale delle diverse tipologie di lampade considerando la totalità delle abitazioni considerate.
In Figura 4.33 è riportata l'incidenza percentuale di ciascuna tipologia nelle abitazioni considerate.

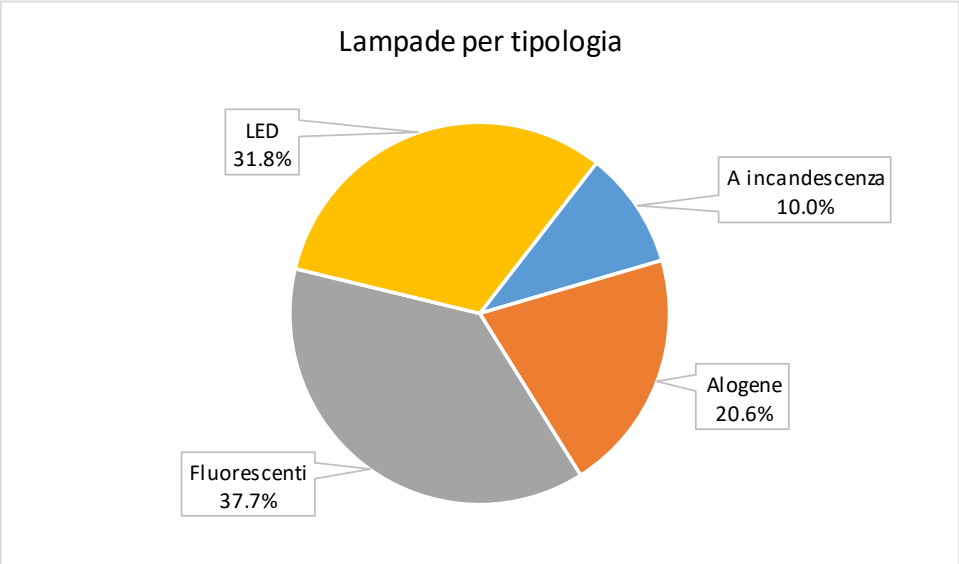


Figura 4.36 – Tipologia di lampade nelle abitazioni considerate.

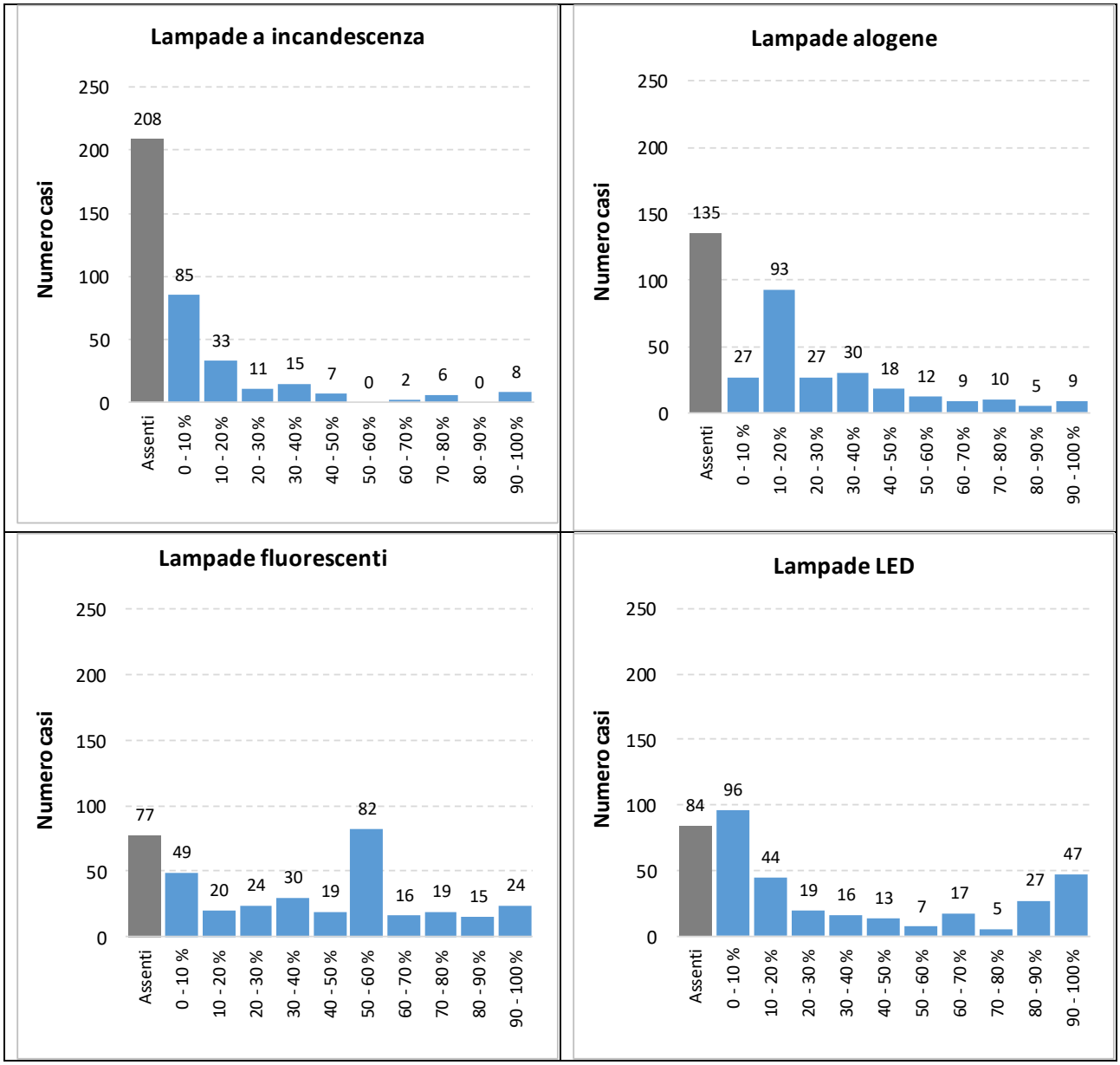


Figura 4.37 – Tipologia di lampade installate; composizione percentuale per l'abitazione.

I risultati delle simulazioni relativi alla sostituzione delle lampade sono riportati nei grafici di Figura 4.38 e Figura 4.39; analogamente a quanto effettuato in precedenza, le variazioni dei consumi di energia primaria sono riportate in termini assoluti ed in termini percentuali in funzione dei soli consumi di energia primaria per l'illuminazione.

Si osserva in questo caso una grande dispersione dei risultati, in conseguenza della particolare incidenza delle diverse tipologie in ognuna delle abitazioni considerate.

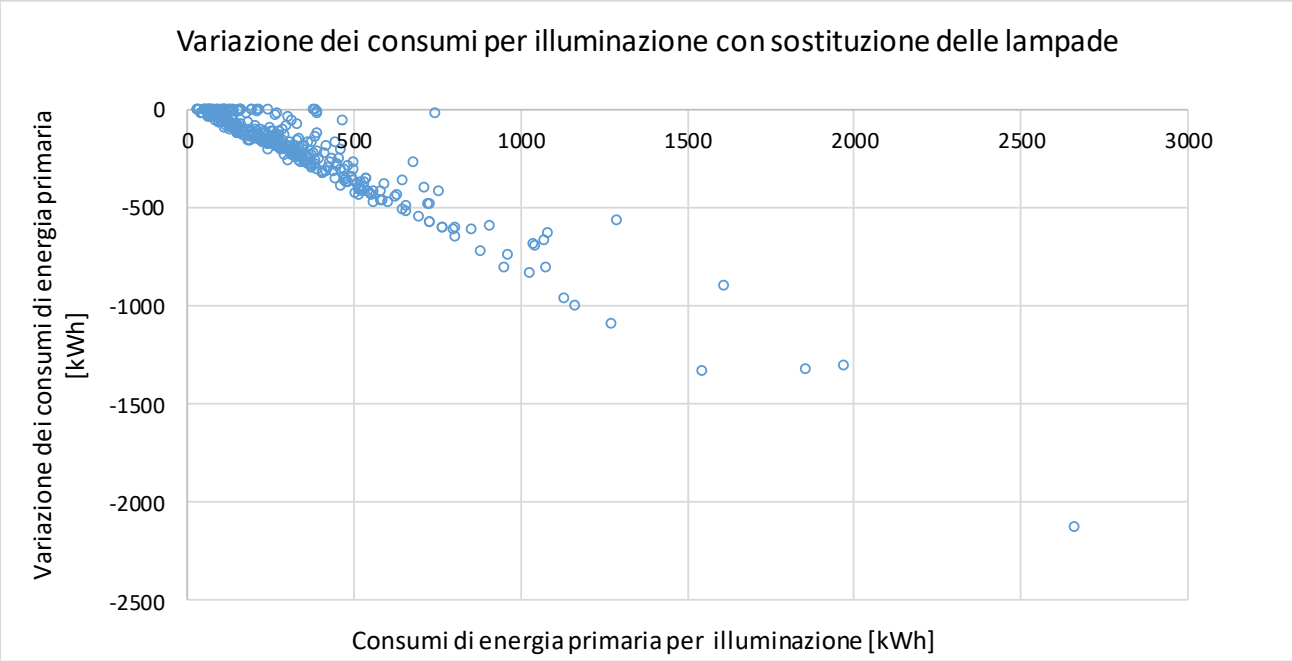


Figura 4.38 – Variazione dei consumi per illuminazione con sostituzione delle lampade.

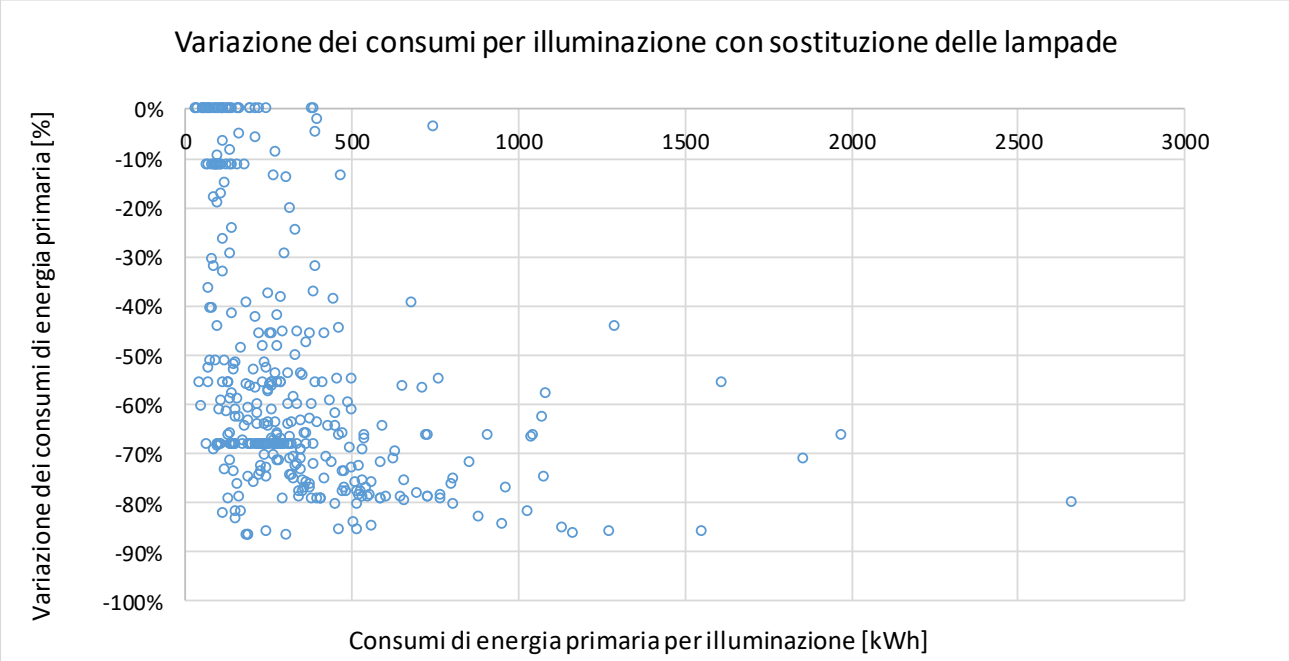


Figura 4.39 – Variazione percentuale dei consumi per illuminazione con sostituzione delle lampade.

4.7 Diverso utilizzo dell'abitazione

Un diverso utilizzo dell'abitazione, rappresentato da un'occupazione in orari diversi rispetto a quelli indicati, ha effetti sui consumi energetici direttamente correlati all'occupazione, quali il riscaldamento, il raffrescamento e l'illuminazione.
Per valutare alla stessa maniera su tutte le abitazioni considerate gli effetti di una possibile diversa occupazione si è utilizzato come riferimento l'abitazione sempre occupata dal massimo numero di persone indicate nel questionario.
Successivamente si è posto pari a zero il numero di occupanti in una delle fasce orarie indicate nel questionario di raccolta dati (8-13; 13-19; 19-0; 0-8).

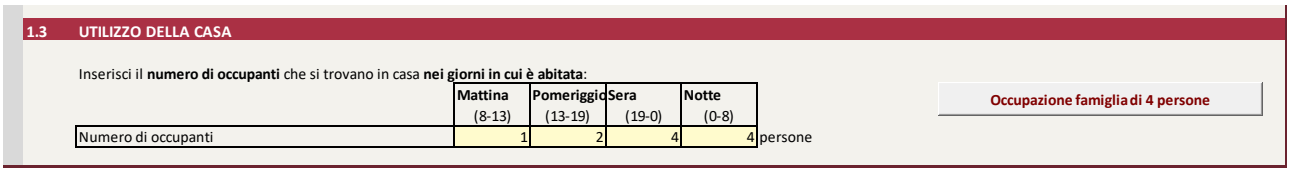


Figura 4.40 – Utilizzo della casa – Input sul questionario.

In Figura 4.41 sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate.

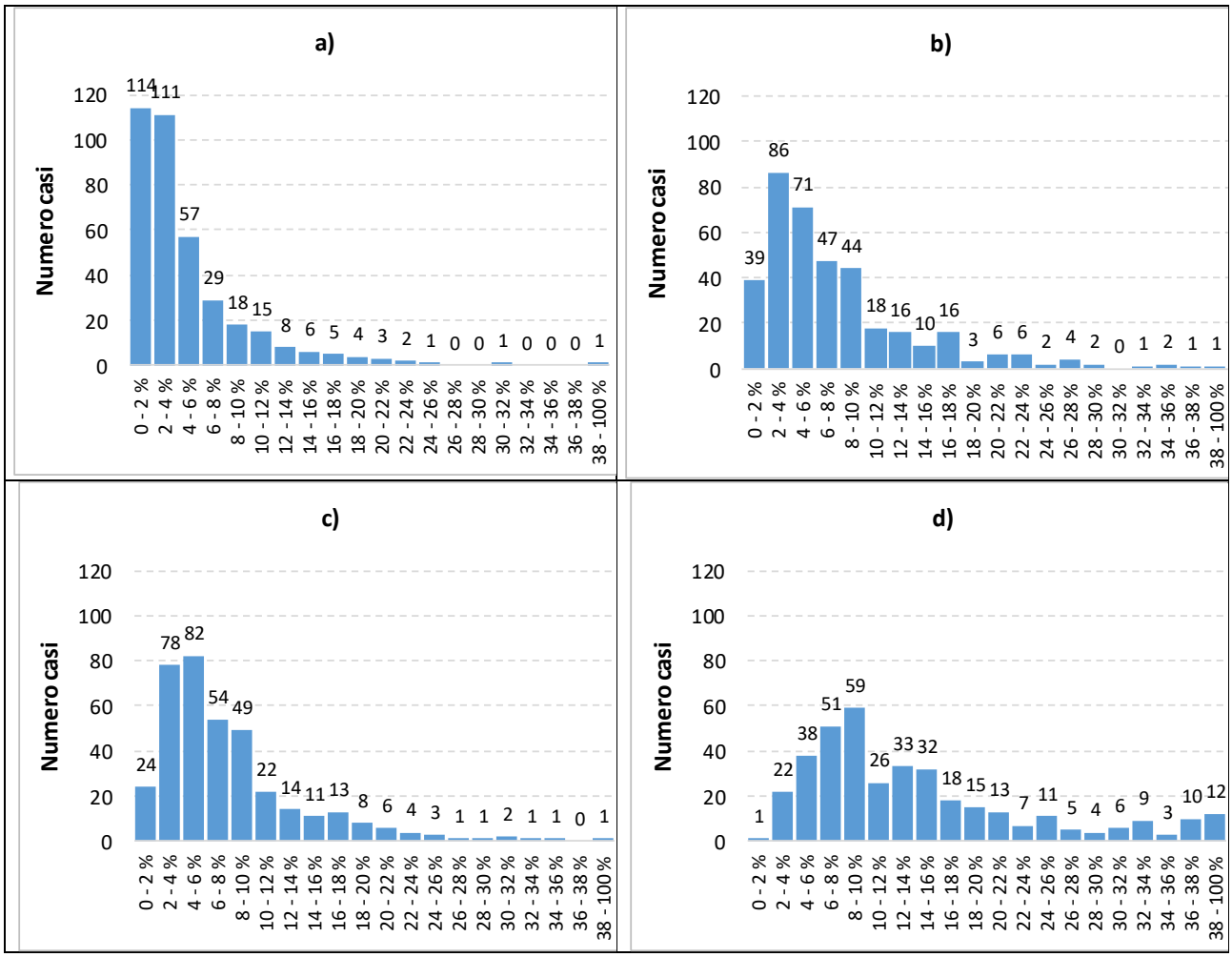


Figura 4.41 – Risparmi percentuali ottenibili sui consumi di energia primaria connessi al riscaldamento, al raffrescamento e all'illuminazione rispetto alla situazione di totale occupazione.
a) Occupazione nulla nella fascia oraria 8-13; b) Occupazione nulla nella fascia oraria 13-19;
c) Occupazione nulla nella fascia oraria 19-0; d) Occupazione nulla nella fascia oraria 0-8.

In tutti i casi a seguito di una minore occupazione si hanno dei risparmi energetici, più alti se l'occupazione è nulla nel periodo notturno. In particolare:

- per occupazione nulla nella fascia 8-13 i risparmi medi sono pari al 4.6%, oscillando tra il valore nullo e il 39.3% come valore massimo;
- per occupazione nulla nella fascia 13-19 i risparmi medi sono pari al 7.8%, oscillando tra il valore minimo pari al 0.4% e il valore massimo pari al 47.7%;
- per occupazione nulla nella fascia 19-0 i risparmi medi sono pari al 8.0%, oscillando tra il valore minimo pari al 0.1% e il valore massimo pari al 46.7%;
- per occupazione nulla nella fascia 0-8 i risparmi medi sono pari al 14.6%, oscillando tra il valore minimo pari al 2.0% e il valore massimo pari al 89.3%.

4.8 Risparmi energetici ottenibili grazie ad un kit di automazione

A partire dalla configurazione esistente, il foglio di calcolo, in automatico, effettua una valutazione dei risparmi energetici ed economici ottenibili introducendo tre diversi kit di automazione ENEA (LOW, MEDIUM, HIGH) e un ipotetico kit (definito max), in grado di raggiungere la classe A di automazione.
Per le abitazioni considerate, si è quindi proceduto con la lettura e l'analisi dei dati del foglio di calcolo, al fine di valutare il risparmio energetico ottenibile grazie all'introduzione di un kit di automazione.

In Tabella 4.1 sono riepilogate le caratteristiche dei kit di automazione ENEA, così come implementate nel foglio di calcolo (cfr. report annualità precedente).

Tabella 4.1 – Caratteristiche kit di automazione ENEA.

Device		numero di dispositivi per tipologia di configurazione		
		LOW	MEDIUM	HIGH
Funzione	Tipo	quantità	quantità	quantità
Monitoraggio	METER elettricità	1	1	1
	METER gas			1
	Multisensore temperatura, presenza, luminosità	1	1 per stanza	1 per stanza
	Rilevatore apertura e chiusura finestre/porte	1	1	1 per finestra + 1
Controllo	Smart valve		1 per radiatore	1 per radiatore
	Smart plug	2	4	6
Energy box	Gateway	1	1	1

In Figura 4.42 sono riportati i risparmi ottenibili grazie all'introduzione di un kit di automazione; in particolare:

- l'introduzione di un kit di automazione ENEA LOW consente mediamente risparmi di energia primaria del 5.3%, oscillando tra un valore minimo del 2.2% ed un valore massimo del 6.6%;
- l'introduzione di un kit di automazione ENEA MEDIUM consente mediamente risparmi di energia primaria del 10.8%, oscillando tra un valore minimo del 4.1% ed un valore massimo del 14.9%;
- l'introduzione di un kit di automazione ENEA HIGH consente mediamente risparmi di energia primaria del 11.7%, oscillando tra un valore minimo del 4.3% ed un valore massimo del 15.8%;
- l'introduzione di un ipotetico kit di automazione max consente mediamente risparmi di energia primaria del 15.1%, oscillando tra un valore minimo dell'8.0% ed un valore massimo del 18.5%.

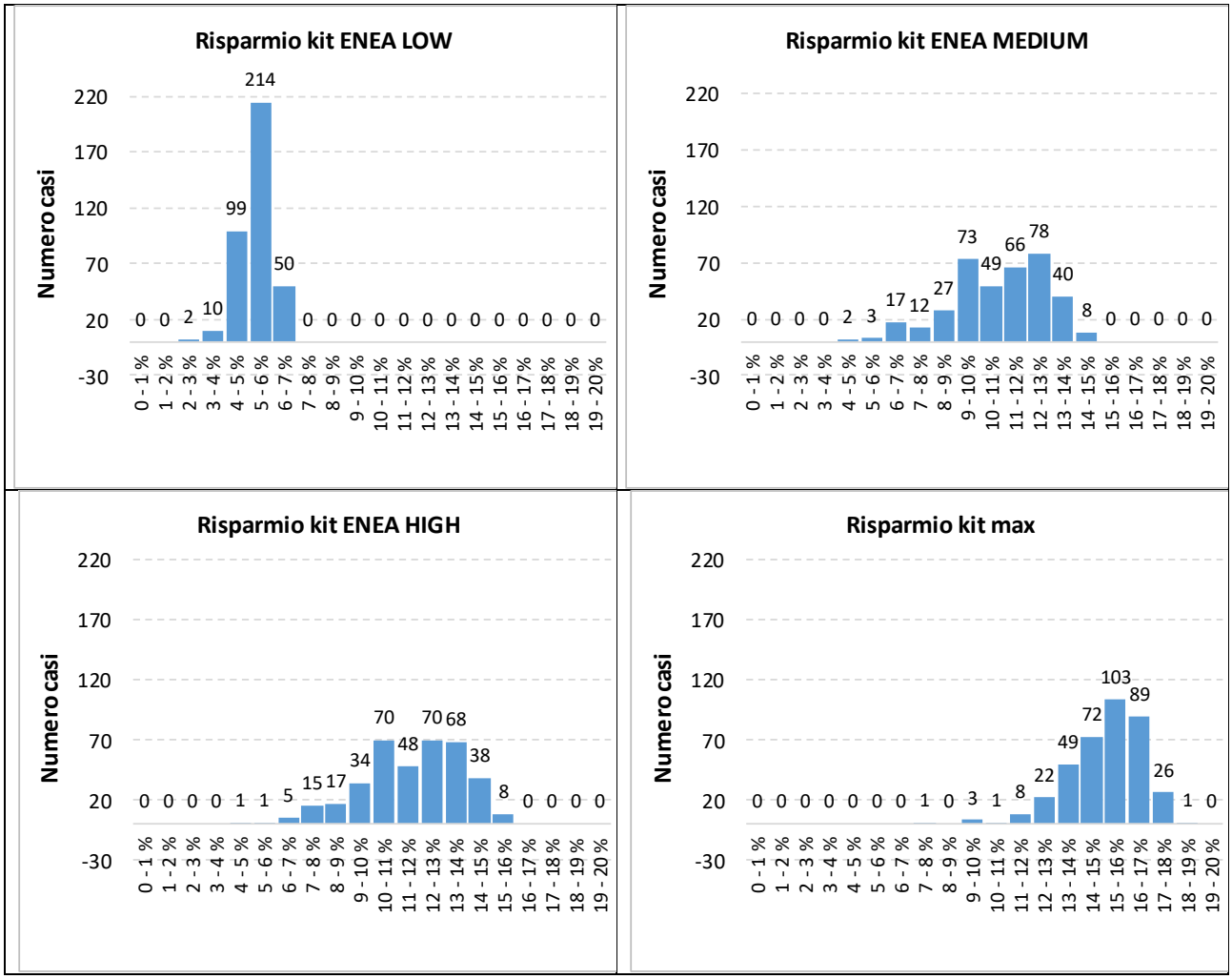


Figura 4.42 – Risparmi percentuali ottenibili sui consumi di energia primaria.

4.9 Considerazioni di riepilogo

È stata effettuata un'analisi di sensibilità dei dati di input, con l'obiettivo di valutare scenari diversi rispetto allo scenario iniziale, esaminando gli effetti sui consumi energetici dell'abitazione di possibili variazioni dei dati di input e dell'installazione di un kit di automazione.
Nei paragrafi precedenti sono stati esposti i risultati delle simulazioni effettuate, mostrando, di volta in volta, le variazioni assolute e percentuali dei consumi di energia primaria, usando come riferimento il consumo energetico direttamente coinvolto.

La Tabella 4.2 riporta un quadro d'insieme delle simulazioni effettuate, indicando il consumo energetico di riferimento, la modifica al dato di input che è stata considerata e le variazioni percentuali dei consumi energetici (minima, media e massima).
L'esame della tabella consente di avere una percezione diretta delle possibili variazioni ai consumi energetici dell'abitazione a seguito di una variazione del dato di input, trattandosi, in ogni caso di una informazione relativa e riferita al solo uso energetico considerato, con la sola eccezione rappresentata dall'introduzione di un kit di automazione che si riferisce ai consumi totali.
Nel leggere la tabella si osservi come, in alcuni casi, ad una variazione del dato di input corrisponda una diminuzione dei consumi energetici e quindi un risparmio, mentre, in altri casi, ad una variazione del dato di input corrisponda un incremento dei consumi energetici.
Si osservi anche come in alcuni casi si abbiano delle variazioni relative molto importanti, soprattutto in concomitanza di consumi energetici bassi relativi al particolare servizio.

Tabella 4.2 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria al variare dei dati di input (variazioni negative indicano dei risparmi).

Modifica input		Variazione percentuale			Consumi di energia primaria di riferimento
		min	med	max	
isolamento pareti		-2.4%	-40.4%	-151.1%	energia primaria per riscaldamento e raffrescamento
isolamento pavimento		-1.2%	-24.0%	-65.2%	
isolamento soffitto		-2.2%	-16.8%	-51.3%	
sostituzione infissi		-0.6%	-16.4%	-63.6%	
variazione temperatura esterna invernale	+0.5 °C	-3.0%	-7.9%	-20.0%	energia primaria per riscaldamento
	+1,0 °C	-6.0%	-15.8%	-39.4%	
	-0.5 °C	3.0%	8.2%	21.6%	
	-1,0 °C	6.0%	16.3%	45.8%	
variazione temperatura interna invernale	+0.5 °C	-4.3%	-8.9%	-20.7%	
	+1,0 °C	-8.6%	-18.0%	-44.0%	
	-0.5 °C	4.4%	8.8%	19.2%	
	-1,0 °C	6.5%	17.3%	38.2%	
sostituzione generatore riscaldamento		-9.3%	-13.5%	-41.9%	
sostituzione regolazione riscaldamento		-2.0%	-4.3%	-29.5%	
variazione temperatura esterna estiva	+0.5 °C	2.4%	20.0%	88.8%	energia primaria per raffrescamento
	+1,0 °C	4.6%	39.3%	146.3%	
	-0.5 °C	-1.7%	-14.4%	-43.8%	
	-1,0 °C	-3.5%	-28.4%	-80.7%	
variazione temperatura interna estiva	+0.5 °C	-2.2%	-18.5%	-77.1%	
	+1,0 °C	-4.0%	-32.8%	-85.1%	
	-0.5 °C	1.9%	16.3%	48.0%	
	-1,0 °C	3.3%	36.1%	155.5%	
sostituzione generatore raffrescamento		-1.2%	-25.3%	-70.9%	
sostituzione generatore ACS		-10.3%	-18.0%	-76.3%	energia primaria per ACS
sostituzione frigorifero o congelatore		7.2%	-49.6%	-87.3%	energia primaria per refrigerazione
sostituzione lavatrice		-10.3%	-24.4%	-54.1%	energia primaria per lavaggio biancheria
sostituzione asciugatrice		-18.2%	-42.8%	-67.5%	energia primaria per asciugatura biancheria
sostituzione lavastoviglie		-9.9%	-23.3%	-51.8%	energia primaria per lavaggio stoviglie
sostituzione lampade		-2.2%	-59.9%	-86.7%	energia primaria per illuminazione
diversa occupazione dell'abitazione	no 8-13	0.0%	-4.6%	-39.3%	energia primaria per riscaldamento, raffrescamento e illuminazione
	no 13-19	-0.4%	-7.8%	-47.7%	
	no 19-0	-0.1%	-8.0%	-46.7%	
	no 0-8	-2.0%	-14.6%	-89.3%	
introduzione di un kit di automazione	ENEA LOW	-2.2%	-5.3%	-6.6%	energia primaria totale
	ENEA MEDIUM	-4.1%	-10.8%	-14.9%	
	ENEA HIGH	-4.3%	-11.7%	-15.8%	
	max	-8.0%	-15.1%	-18.5%	

Al fine di completare l'analisi di sensibilità dei dati di input conviene valutare la variazione degli stessi, relativamente ai consumi di primaria totali dell'abitazione.
La Tabella 4.3 riporta un quadro di insieme delle valutazioni effettuate.
Ovviamente, le variazioni percentuale qui riportate risultano ridotte rispetto a quelle indicate dalla Tabella 4.2, in ragione della diversa incidenza percentuale dei servizi considerati.

Tabella 4.3 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria al variare dei dati di input (variazioni negative indicano dei risparmi).

Modifica input		Variazione percentuale			Consumi di energia primaria di riferimento
		min	med	max	
isolamento pareti		-1.0%	-16.4%	-41.6%	energia primaria totale
isolamento pavimento		-0.6%	-12.7%	-36.4%	
isolamento soffitto		-0.7%	-8.5%	-27.2%	
sostituzione infissi		-0.4%	-6.4%	-20.5%	
variazione temperatura esterna invernale	+0.5 °C	-1.3%	-3.0%	-5.7%	energia primaria totale
	+1,0 °C	-2.7%	-6.1%	-10.8%	
	-0.5 °C	1.3%	3.1%	5.6%	
	-1,0 °C	2.7%	6.2%	12.7%	
variazione temperatura interna invernale	+0.5 °C	-1.5%	-3.5%	-7.0%	
	+1,0 °C	-2.9%	-7.0%	-13.7%	
	-0.5 °C	1.4%	3.4%	6.4%	
	-1,0 °C	2.7%	6.8%	11.7%	
sostituzione generatore riscaldamento		-1.1%	-5.8%	-18.0%	
sostituzione regolazione riscaldamento		-0.2%	-1.8%	-13.2%	
variazione temperatura esterna estiva	+0.5 °C	0.1%	0.4%	1.6%	energia primaria totale
	+1,0 °C	0.3%	0.9%	2.1%	
	-0.5 °C	-0.1%	-0.4%	-0.9%	
	-1,0 °C	-0.2%	-0.7%	-1.7%	
variazione temperatura interna estiva	+0.5 °C	-0.2%	-0.4%	-1.0%	
	+1,0 °C	-0.2%	-0.7%	-1.8%	
	-0.5 °C	0.1%	0.4%	0.9%	
	-1,0 °C	0.1%	0.8%	2.0%	
sostituzione generatore raffrescamento		0.0%	-0.7%	-3.3%	
sostituzione generatore ACS		-0.3%	-3.3%	-29.0%	energia primaria totale
sostituzione frigorifero o congelatore		0.0%	-1.6%	-14.9%	energia primaria totale
sostituzione lavatrice		-0.1%	-0.8%	-3.5%	energia primaria totale
sostituzione asciugatrice		0.0%	-1.3%	-6.9%	energia primaria totale
sostituzione lavastoviglie		0.0%	-0.7%	-2.5%	energia primaria totale
sostituzione lampade		0.0%	-1.5%	-12.9%	energia primaria totale
diversa occupazione dell'abitazione	no 8-13	0.0%	-1.7%	-8.1%	energia primaria totale
	no 13-19	-0.3%	-2.9%	-9.0%	
	no 19-0	-0.1%	-3.0%	-8.5%	
	no 0-8	-1.3%	-5.5%	-15.2%	
introduzione di un kit di automazione	ENEA LOW	-2.2%	-5.3%	-6.6%	energia primaria totale
	ENEA MEDIUM	-4.1%	-10.8%	-14.9%	
	ENEA HIGH	-4.3%	-11.7%	-15.8%	
	max	-8.0%	-15.1%	-18.5%	

L'osservazione dell'incidenza media mostra un primo aspetto molto interessante: un'incidenza media superiore al 10% si ha solo a seguito di interventi di riqualificazione energetica importanti sull'involucro edilizio e a seguito dell'installazione di un kit di automazione.

Osservando l'incidenza massima, valori superiori al 10% si riscontrano con una frequenza maggiore.

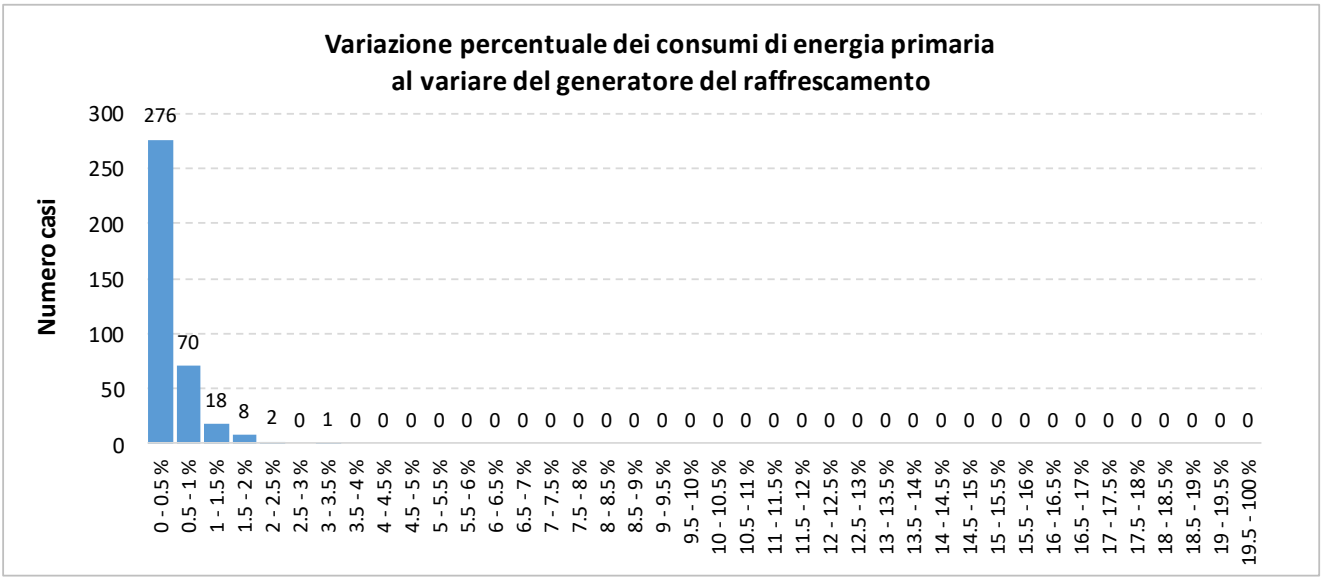
Tuttavia, nell'analizzare singolarmente i diversi interventi si è constatato in molti casi un raggruppamento dei risultati che può portare facilmente ad individuare casi "particolari" quali le abitazioni in cui si abbia:

- un climatizzatore in classe peggiore della A (25 climatizzatori su 183, pari al 13.7% dei climatizzatori presenti);
- uno scaldabagno elettrico (47 abitazioni su 375, pari al 12.5% del totale);
- una frigorifero in classe peggiore della A (66 / 468, 14.1% dei frigoriferi presenti);
- una lavatrice in classe peggiore della A (18 / 372, 4.8% delle lavatrici presenti);
- una lavastoviglie in classe peggiore della A (12 / 215, 5.6% delle lavastoviglie presenti);
- un'asciugatrice in classe peggiore della A (6 / 59, 10.2% delle lavastoviglie presenti);
- una presenza di lampade a incandescenza o alogene superiore al 40% del totale (106 / 375, pari al 28.3% del totale).

Tali casi "particolari" risultano di interesse sia per l'aggregatore sia per l'utente finale, potendo rappresentare un'occasione importante di risparmio energetico o, in alternativa, potendo rappresentare elemento su cui porre l'attenzione. Più precisamente, la sostituzione di un'apparecchiatura poco efficiente utilizzata in modo intenso può rappresentare occasione di risparmio energetico, mentre il suo mantenimento rappresenta elemento su cui porre l'attenzione.

I grafici delle figure seguenti riportano, con una suddivisione per intervalli, le variazioni percentuali dei consumi di energia primaria al variare del generatore per il raffrescamento (Figura 4.43), del generatore dell'acqua calda sanitaria (Figura 4.44), con sostituzione del frigorifero o dl congelatore (Figura 4.45), con sostituzione della lavatrice (Figura 4.46), della lavastoviglie (Figura 4.47), dell' asciugatrice (Figura 4.48) e delle lampade (Figura 4.49).

In generale, si può osservare come sia estremamente basso il numero di casi in cui l'incidenza di una variazione sui consumi totali di energia primaria è superiore al 10%, in ragione del basso numero di casi particolari o in ragione di uno scarso utilizzo delle apparecchiature poco efficienti.


Variazione percentuale dei consumi di energia primaria
al variare del generatore del raffrescamento
Numero casi
300
250
200
150
100
50
0
276
70
18
8
2
0
1
0
0
0

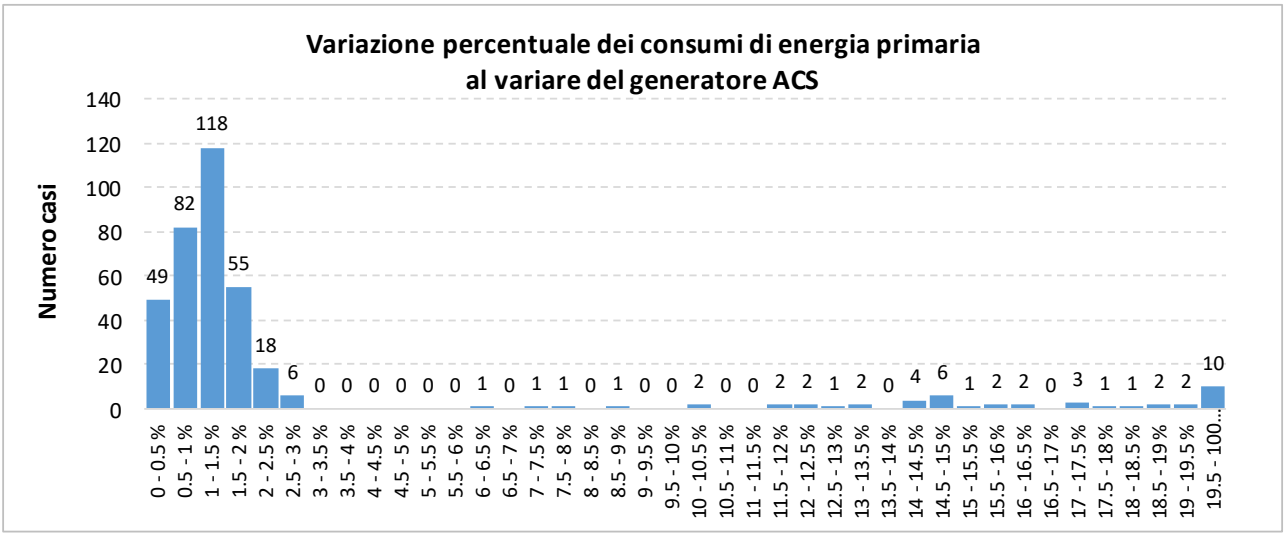


Figura 4.44 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria al variare del generatore ACS.

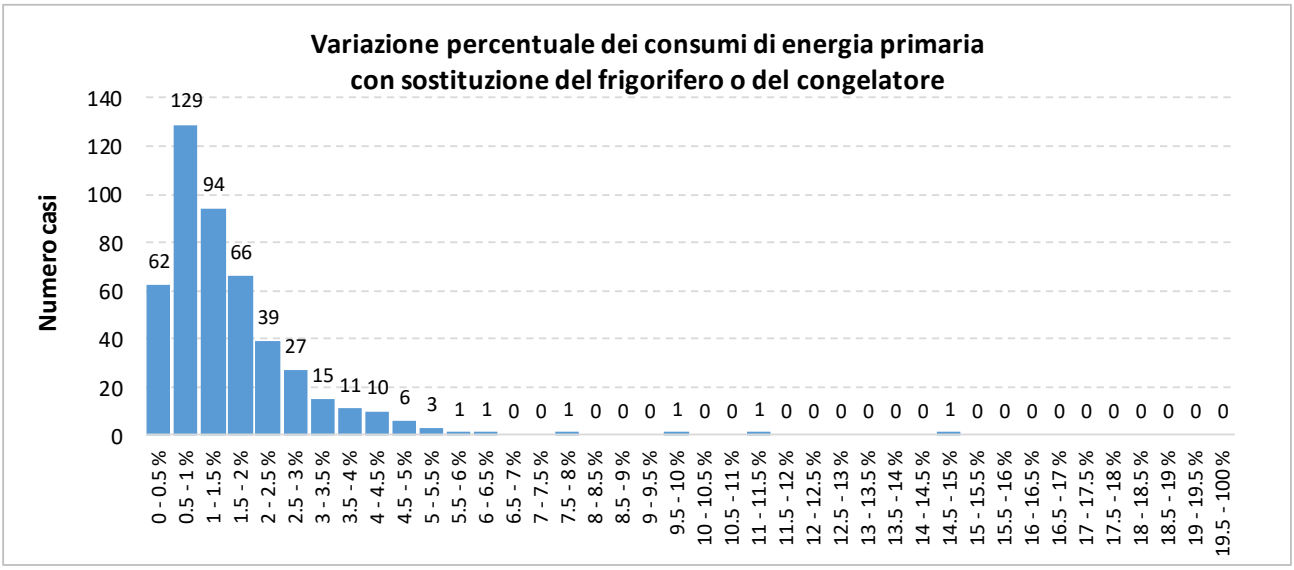


Figura 4.45 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria con sostituzione del frigorifero o del congelatore.

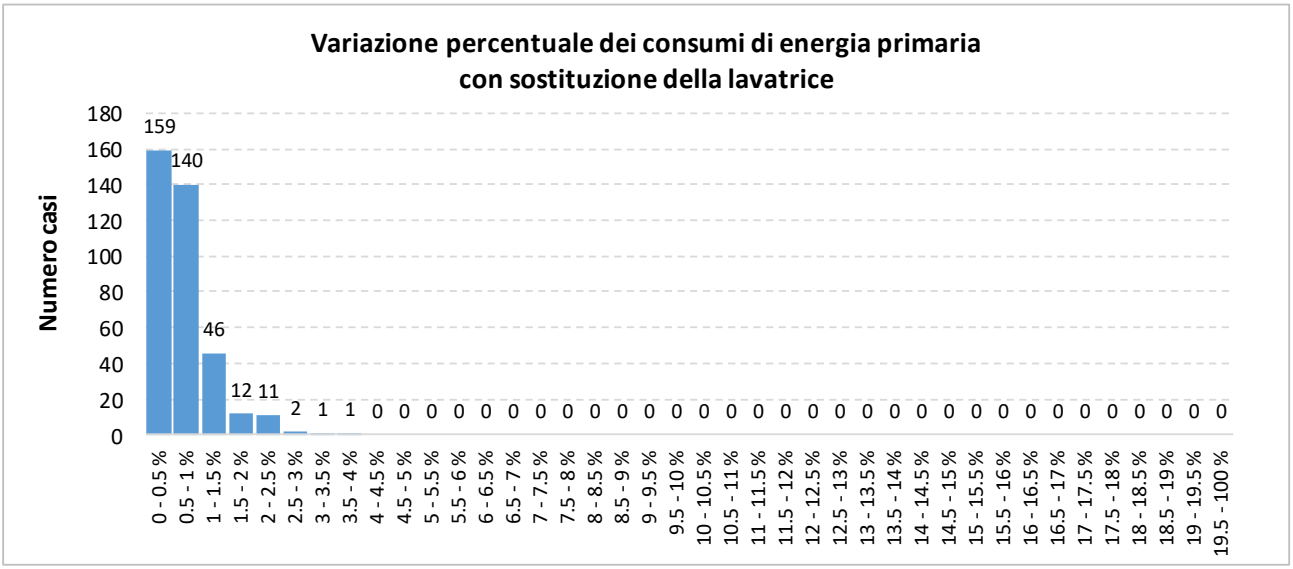


Figura 4.46 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria con sostituzione della lavatrice.

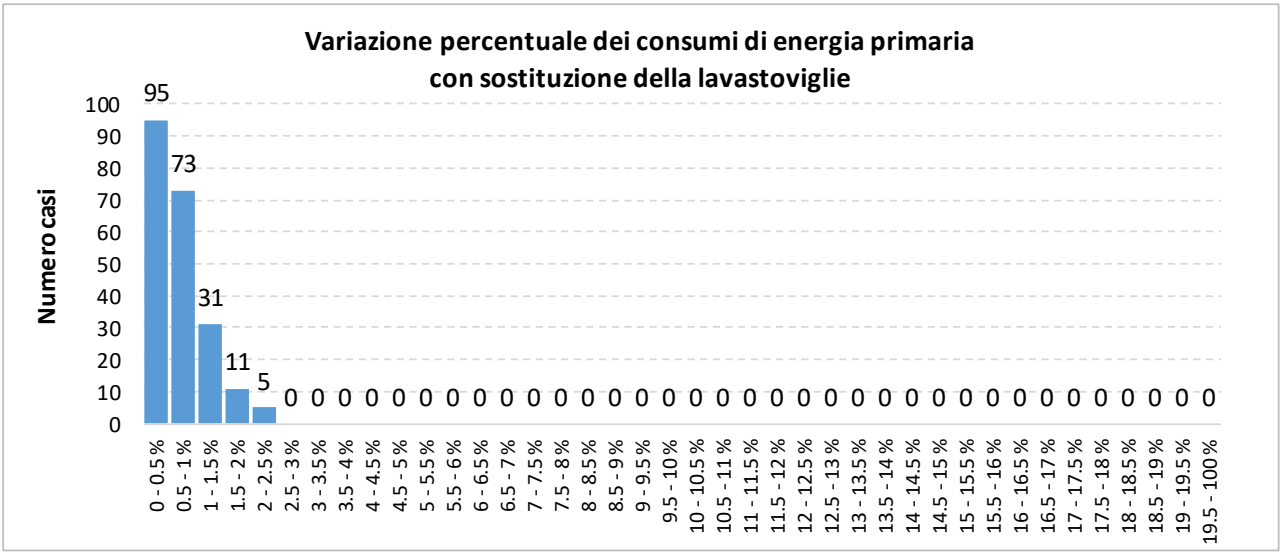


Figura 4.47 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria con sostituzione della lavastoviglie.

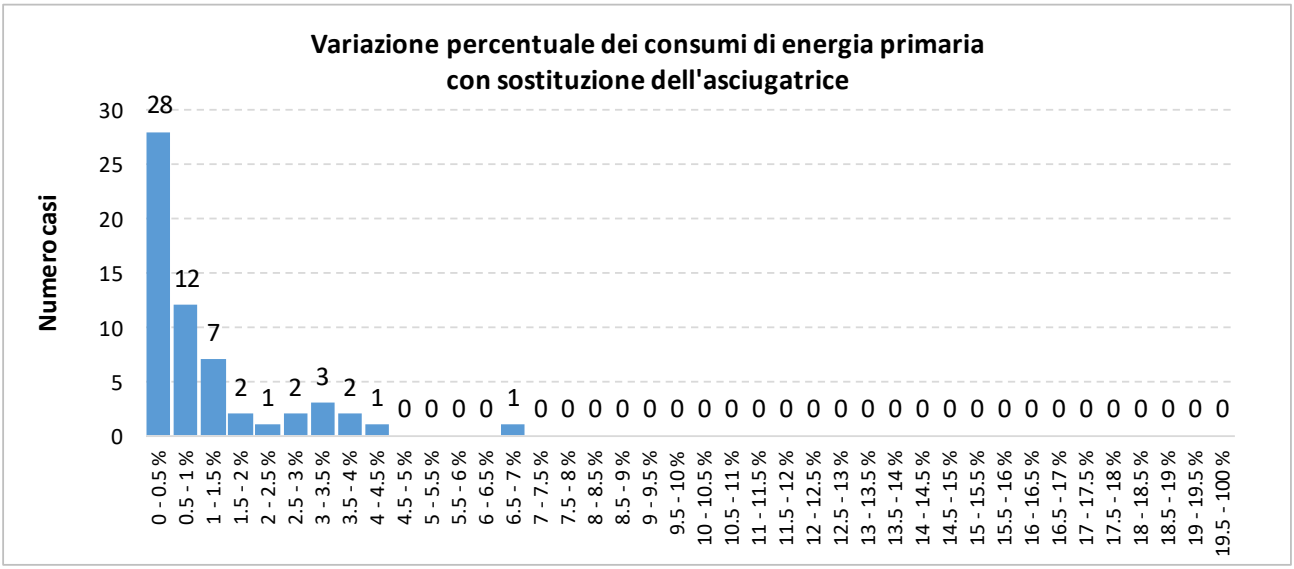


Figura 4.48 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria con sostituzione dell’asciugatrice.

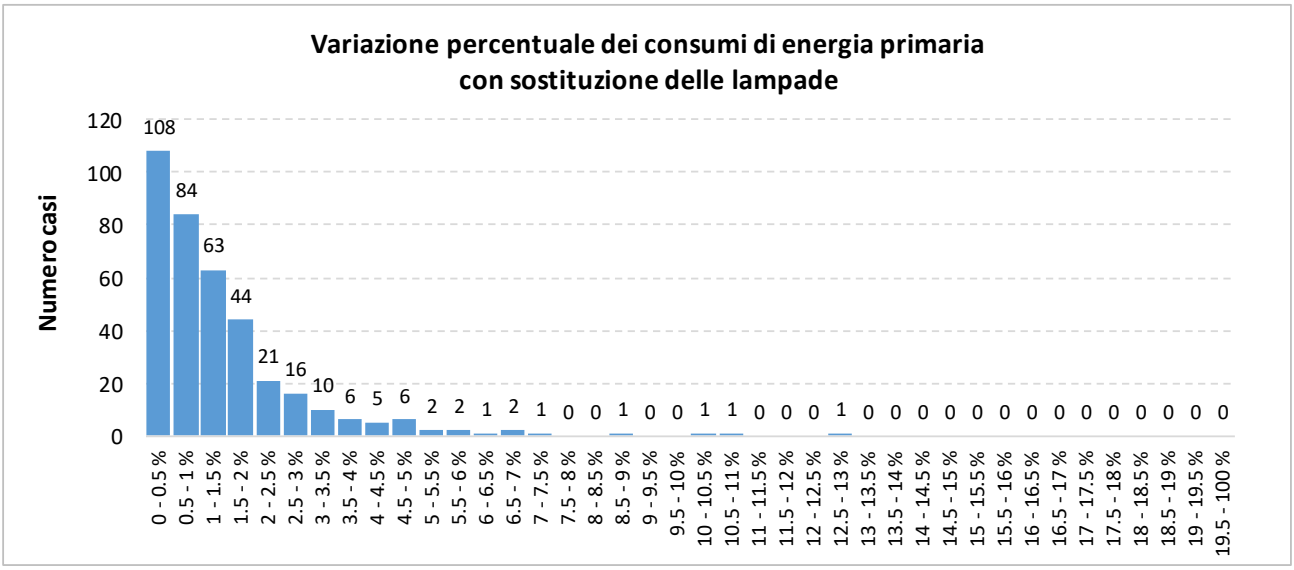


Figura 4.49 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria con sostituzione delle lampade.

Escludendo i casi "particolari" dalla valutazione complessiva, si ottiene la Tabella 4.4, con una riduzione ulteriore delle incidenze percentuali.

Tabella 4.4 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria al variare dei dati di input (variazioni negative indicano dei risparmi).

Modifica input		Variazione percentuale			Consumi di energia primaria di riferimento
		min	med	max	
isolamento pareti		-1.0%	-16.4%	-41.6%	energia primaria totale
isolamento pavimento		-0.6%	-12.7%	-36.4%	
isolamento soffitto		-0.7%	-8.5%	-27.2%	
sostituzione infissi		-0.4%	-6.4%	-20.5%	
variazione temperatura esterna invernale	+0.5 °C	-1.3%	-3.0%	-5.7%	energia primaria totale
	+1,0 °C	-2.7%	-6.1%	-10.8%	
	-0.5 °C	1.3%	3.1%	5.6%	
	-1,0 °C	2.7%	6.2%	12.7%	
variazione temperatura interna invernale	+0.5 °C	-1.5%	-3.5%	-7.0%	
	+1,0 °C	-2.9%	-7.0%	-13.7%	
	-0.5 °C	1.4%	3.4%	6.4%	
	-1,0 °C	2.7%	6.8%	11.7%	
sostituzione generatore riscaldamento		-1.1%	-5.8%	-18.0%	
sostituzione regolazione riscaldamento		-0.2%	-1.8%	-13.2%	
variazione temperatura esterna estiva	+0.5 °C	0.1%	0.4%	1.6%	energia primaria totale
	+1,0 °C	0.3%	0.9%	2.1%	
	-0.5 °C	-0.1%	-0.4%	-0.9%	
	-1,0 °C	-0.2%	-0.7%	-1.7%	
variazione temperatura interna estiva	+0.5 °C	-0.2%	-0.4%	-1.0%	
	+1,0 °C	-0.2%	-0.7%	-1.8%	
	-0.5 °C	0.1%	0.4%	0.9%	
	-1,0 °C	0.1%	0.8%	2.0%	
sostituzione generatore raffrescamento		0.0%	-0.6%	-1.9%	
sostituzione generatore ACS		-0.3%	-1.3%	-2.9%	energia primaria totale
sostituzione frigorifero o congelatore		-0.2%	-1.2%	-5.3%	energia primaria totale
sostituzione lavatrice		-0.1%	-0.8%	-3.1%	energia primaria totale
sostituzione asciugatrice		0.0%	-1.1%	-3.9%	energia primaria totale
sostituzione lavastoviglie		0.0%	-0.7%	-2.5%	energia primaria totale
sostituzione lampade		0.0%	-1.0%	-6.7%	energia primaria totale
diversa occupazione dell'abitazione	no 8-13	0.0%	-1.7%	-8.1%	energia primaria totale
	no 13-19	-0.3%	-2.9%	-9.0%	
	no 19-0	-0.1%	-3.0%	-8.5%	
	no 0-8	-1.3%	-5.5%	-15.2%	
introduzione di un kit di automazione	ENEA LOW	-2.2%	-5.3%	-6.6%	energia primaria totale
	ENEA MEDIUM	-4.1%	-10.7%	-14.9%	
	ENEA HIGH	-4.3%	-11.5%	-15.8%	
	max	-8.0%	-15.0%	-18.5%	

L'esame della Tabella 4.4 e dei grafici di Figura 4.50e di Figura 4.51 fornisce la lettura conclusiva delle indagini effettuate e indica quali siano le variazioni dei dati di input più importanti e quali siano i servizi su cui porre l'attenzione.

Il primo dato che emerge è rappresentato dai risparmi energetici conseguenti all'introduzione di un kit di automazione, che risultano decisamente alti rispetto a tutti gli altri.

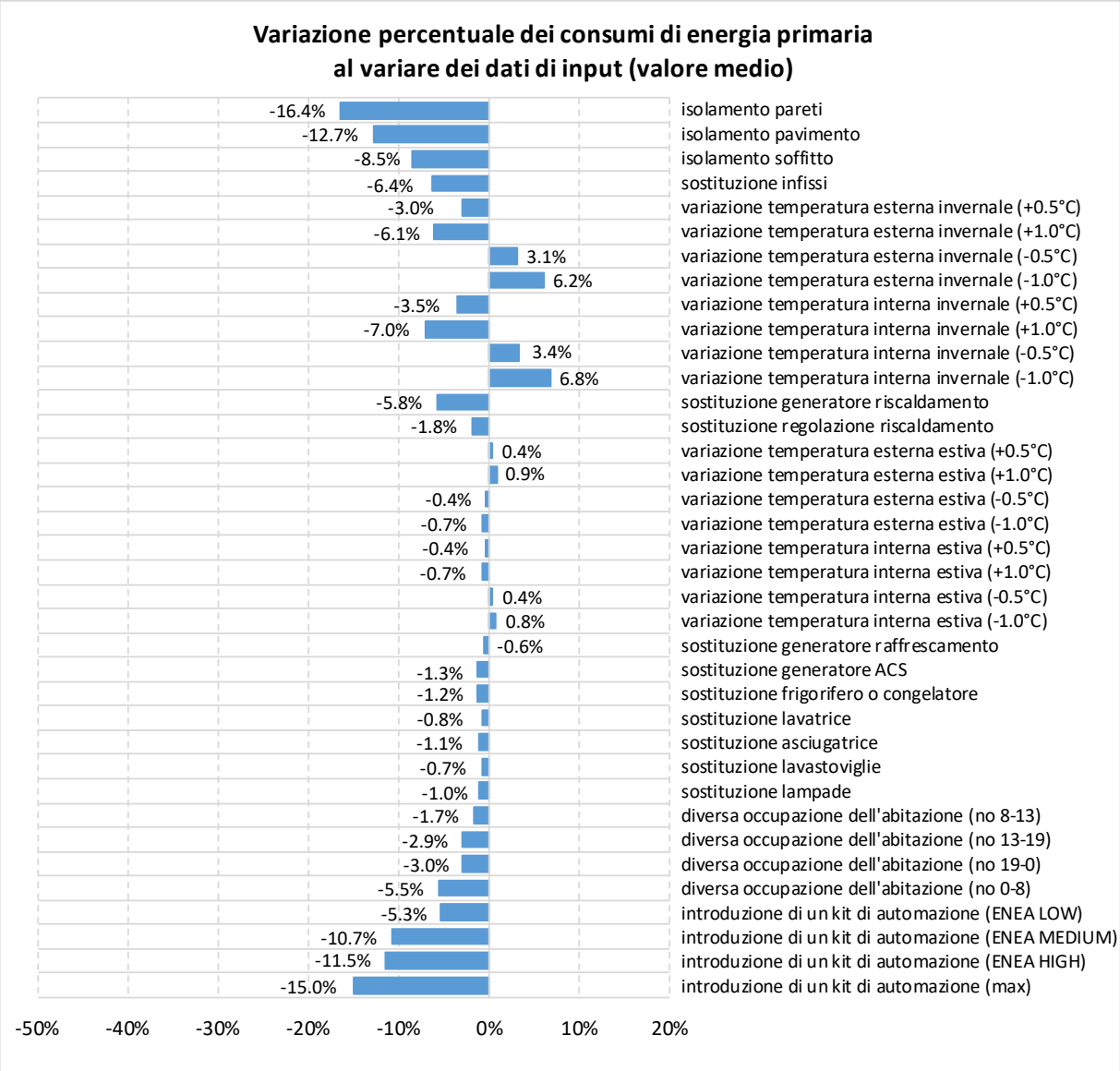


Figura 4.50 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria al variare dei dati di input (valore medio).

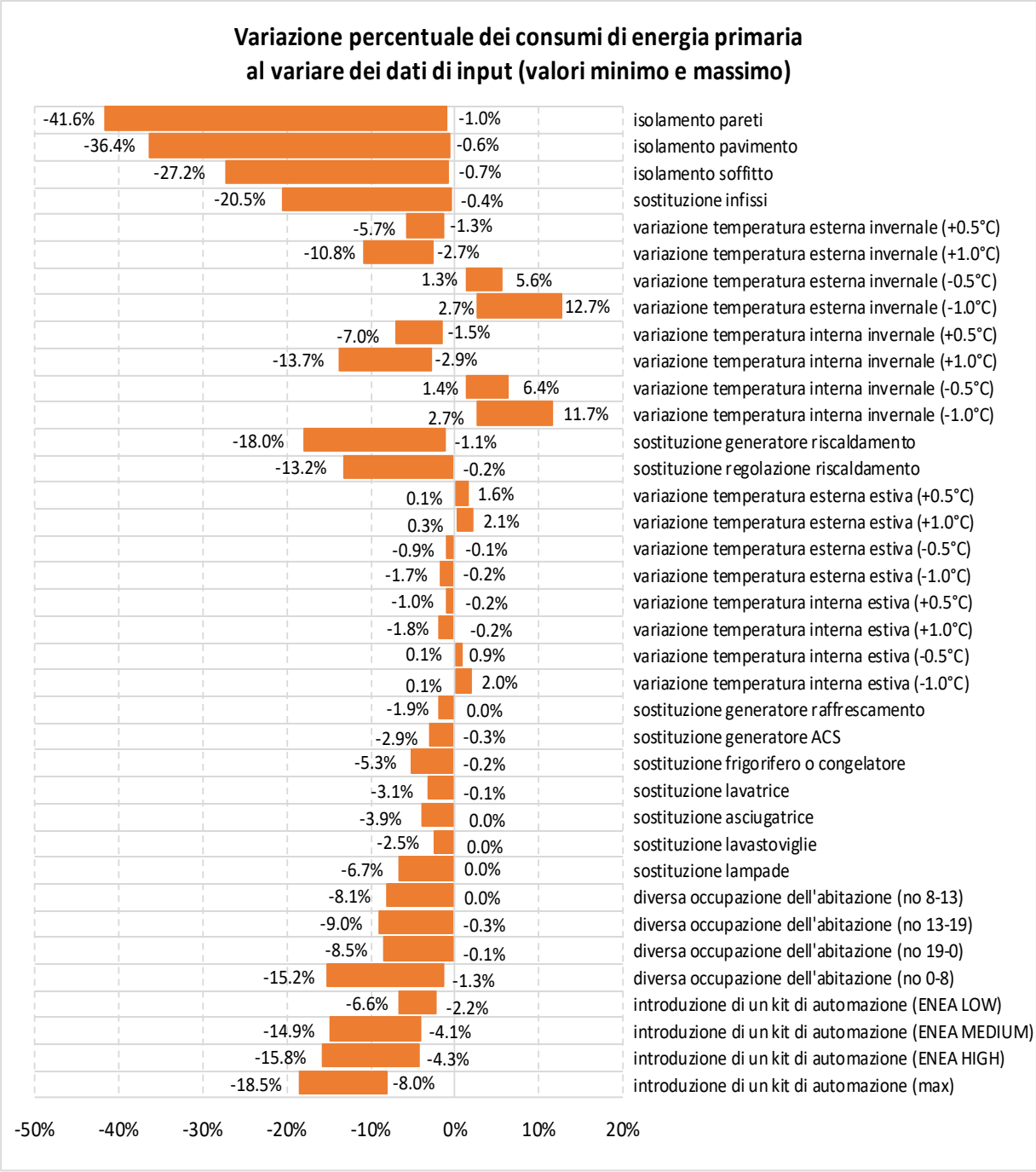


Figura 4.51 – Variazione percentuale dei consumi di energia primaria al variare dei dati di input (valori minimo e massimo).

Inoltre, la lettura della tabella e dei grafici porta ad affermare che il servizio da monitorare con più attenzione è senz'altro il servizio di riscaldamento. É il servizio che incide di più sui consumi energetici dell'abitazione, ed è anche il servizio più sensibile a eventuali variazioni dei dati di input.

Per tutti gli altri servizi si hanno incidenze minori; ed in ragione della minore incidenza sui consumi dell'abitazione, le variazioni dei dati di input considerate hanno mostrato un'incidenza contenuta sui dati di consumo complessivo dell'abitazione.

Resta inteso che le simulazioni effettuate hanno voluto simulare la variazione di alcuni dei dati di input e non di tutti i possibili dati di input, selezionando quelli che possono variare a fronte di un utilizzo stabile nel tempo dell'abitazione.
Non sono stati presi in considerazione scenari di forte variazione dei dati di input, rappresentati ad esempio dalla variazione del numero delle persone che vivono l'abitazione, dall'aggiunta o dalla eliminazione di apparecchiature, o più generalmente da uno forte cambiamento delle abitudini di utilizzo delle apparecchiature.
Per queste variazioni, così come per i casi "particolari" di cui si è trattato occorre procedere di volta in volta con una valutazione mirata.

5 Qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici

L'attività dell'aggregatore prevede necessariamente l'installazione di uno smart home presso l'utente finale e può prevedere altre installazioni o altri interventi volti alla realizzabilità tecnica dell'intervento.
In aggiunta l'attività dell'aggregatore può prevedere interventi specifici volti a migliorare l'efficienza energetica dell'abitazione, quali una riqualificazione energetica dell'involucro edilizio, una riqualificazione energetica degli impianti tecnologici o la sostituzione di apparecchiature.
Sia l'installazione di uno smart home, sia la realizzazione di altri interventi presuppongono un investimento e hanno come risultato probabile un risparmio energetico e conseguentemente un risparmio economico.

È necessario pertanto individuare una procedura per la qualificazione e per la validazione dei consumi elettrici e termici, che potrà essere utilizzata per una valutazione condivisa del risparmio energetico ed economico conseguente alle installazioni effettuate; in questa maniera, si potranno ripartire correttamente profitti (o perdite) derivanti dagli investimenti effettuati, tra l'aggregatore e l'utente finale.

Tale procedura potrà diventare parte integrante di un capitolato volto a regolare i rapporti tra l'aggregatore e l'utente e dovrà includere misurazioni e stime dei consumi energetici, evitando l'insorgere di conflitti di gestione o di conflitti di interesse.

Sarà essenzialmente strutturata secondo i seguenti passi:

1. raccolta delle informazioni relative all'abitazione ed ai suoi usi energetici;
2. inserimento del caso specifico nel database e analisi comparativa con gli altri casi;
3. definizione delle strategie di intervento, volta a pianificare non solo l'installazione dello smart home, ma anche eventuali ulteriori interventi;
4. definizione dei livelli minimi di misurazione;
5. definizione dello schema di contratto per la remunerazione dell'intervento.

5.1 Raccolta delle informazioni relative all'abitazione ed ai suoi usi energetici

La raccolta delle informazioni relative all'abitazione può avvenire mediante il questionario predisposto nel corso dell'annualità precedente utilizzato nel corso di questo lavoro e che sarà in parte modificato secondo quanto indicato al capitolo 3.
In questa fase è fondamentale che si arrivi ad una raccolta completa delle informazioni, relativamente alle caratteristiche dell'abitazione, ai suoi sistemi impiantistici, alle sue dotazioni e alle modalità di utilizzo di tutti i sistemi in essa presenti.
Inserendo nel foglio di calcolo i dati di consumo reale dedotti dalle bollette (dell'elettricità e del gas), si procederà poi a verificare la rispondenza dei dati simulati con i dati reali, in maniera tale che si possa procedere ad una correzione dei dati in caso di discordanza alta.
La persistenza di differenze tra i dati simulati e i dati potrà fornire delle prime indicazioni relative alla consapevolezza dei propri consumi energetici e delle proprie abitudini.

5.2 Inserimento del caso specifico nel database e analisi comparativa con gli altri casi

Una prima caratterizzazione del caso specifico sarà effettuata confrontando i risultati con dei valori di riferimento, già implementati nel foglio di calcolo e per i quali dovrà essere previsto un aggiornamento con frequenza almeno annuale, in linea con la pubblicazione dei dati statistici di riferimento; relativamente ai costi connessi ai consumi energetici si potrà prevedere anche un aggiornamento più frequente, in linea con le continue evoluzioni dei mercati dell'energia.

Una seconda caratterizzazione del caso specifico sarà effettuata per confronto con gli altri casi presenti nel database, al fine di valutare l'incidenza dei singoli servizi presenti nell'abitazione e la sensibilità dei consumi energetici alla variazione dei dati di input.

Nel caso in cui a seguito dei confronti effettuati si riscontrasse un mancato allineamento dei dati, si potrà procedere con una diagnosi energetica volta a caratterizzare in maniera più puntuale e rigorosa il caso specifico.
A precisazione di questa ultima affermazione, vale la pena ricordare che, come rilevato dalle ricerche fatte negli anni precedenti, nella maggior parte dei casi, i risparmi di gestione sui quali poter basare l'attività dell'aggregatore sono bassi; per questo motivo la diagnosi energetica dovrà essere portata avanti solo in casi eccezionali, essendo decisamente più onerosa dell'analisi semplificata svolta attraverso il foglio di calcolo utilizzato in questa ricerca.

5.3 Definizione delle strategie di intervento

L'installazione di uno smart home rappresenta un requisito essenziale per l'attività di un aggregatore. Accanto all'installazione di uno smart home possono essere previsti altri interventi volti a migliorare l'efficienza energetica dell'abitazione, quali una riqualificazione energetica dell'involucro edilizio, una riqualificazione energetica degli impianti tecnologici o la sostituzione di apparecchiature.
Interesse peculiare dell'aggregatore è anche la gestione dei carichi elettrici accumulabili e differibili. Una valutazione dell'elettrificazione iniziale dell'abitazione, del suo potenziale di elettrificazione e dell'entità dei carichi accumulabili e differibili potrà suggerire altre strategie di intervento.

Il foglio di calcolo implementa una valutazione automatica per l'aggregatore che prevede delle analisi preliminari sui consumi energetici, utili a rappresentare all'aggregatore la gestione energetica dell'abitazione, anche in una chiave di ottimizzazione dell'investimento; in particolare, i confronti effettuati vogliono porre all'attenzione dell'aggregatore eventuali, ulteriori margini di risparmio nella gestione energetica dell'abitazione, soprattutto in presenza di consumi dichiarati alti.
A partire dalla situazione esistente, è possibile anche valutare il potenziale di elettrificazione dell'abitazione. In particolare, è possibile valutare i potenziali risparmi energetici ed economici derivanti dall'elettrificazione delle utenze di cucina, di preparazione dell'acqua calda sanitaria e di riscaldamento.

In questa fase sarà necessario risolvere possibili conflitti di interesse tra l'aggregatore e l'utente finale, potenzialmente rappresentati dalla volontà dell'aggregatore di avere carichi accumulabili e differibili attraverso i quali partecipare a programmi di demande response, in contrasto con la volontà dell'utente finale di ridurre i propri consumi energetici.

Un quadro completo degli interventi consentirà un'analisi costi benefici e la loro pianificazione temporale.

5.4 Definizione dei livelli minimi di misurazione

L'obiettivo delle analisi effettuate in questo lavoro è l'individuazione di un compromesso ottimale tra le misurazioni e le stime dei consumi energetici; infatti, se da un lato la misurazione di tutti i parametri che influenzano i consumi energetici toglie ogni dubbio circa l'origine del consumo stesso, dall'altro l'installazione di ogni punto di misura comporta un investimento, che deve poi essere necessariamente remunerato.

Per questo motivo, a partire dalle analisi di cui ai punti precedenti della procedura si dovranno definire i requisiti minimi di misurazione rappresentati da un'implementazione di punti di misura rispetto al valore minimo di base.
Alla luce dell'incidenza dei singoli servizi, stimata per il caso specifico, e dei costi di installazione di ulteriori punti di misura si potrà decidere una franchigia al di sotto della quale i consumi energetici potranno essere

stimati e non misurati, utilizzando a seconda dei casi la procedura semplificata prevista dal foglio di calcolo o una diagnosi energetica.

5.4.1 Consumi energetici di riscaldamento

I consumi energetici per il riscaldamento degli ambienti rappresentano mediamente il 43.6% dei consumi di energia primaria totali di un'abitazione. Nel caso in cui il riscaldamento è alimentato elettricamente, questo rappresenta il principale carico accumulabile.
Per questi motivi è fondamentale che i consumi energetici connessi a tale servizio siano identificati con certezza attraverso delle misurazioni, utili a individuare in maniera corretta l'influenza di variabili esterne (condizioni climatiche), del comportamento dell'utente (orari di accensione e temperatura interna) e di eventuali interventi di risparmio energetico.

L'incidenza sui consumi di energia primaria di variazioni della temperatura esterna può essere notevole e superare il valore del 10% dei consumi di energia primaria totali, in positivo o in negativo. Si è anche osservato che l'incidenza percentuale di una variazione della temperatura esterna è molto variabile da un'abitazione all'altra, a seconda dell'entità dei consumi energetici e a seconda dell'importanza degli apporti interni.
Una normalizzazione delle variazioni della temperatura esterna può essere effettuata utilizzando il foglio di calcolo e simulando gli effetti di una variazione della temperatura esterna (con un numero di simulazioni superiore rispetto a quanto effettuato in questo lavoro) al fine di arrivare ad una funzione che descriva in maniera sufficientemente approssimata le correlazioni tra la temperatura esterna e i consumi di riscaldamento.
La validazione di tale funzione può essere effettuata solo attraverso un confronto con i consumi reali dell'abitazione, con tutte le incertezze derivanti dalla mancanza di dati storici. Per questo motivo conviene distinguere due fasi operative:

- una prima fase nella quale, in assenza di dati storici, si utilizzano i dati delle bollette energetiche, i dati climatici della località resi disponibili da stazioni climatiche poste nelle vicinanze dell'abitazione e quanto dichiarato nel foglio di calcolo;
- una seconda fase, nella quale si utilizzano i dati resi disponibili dallo smart home, che pertanto dovrà essere strutturato in maniera tale da acquisire le informazioni utili.

L'incidenza sui consumi di energia primaria di variazioni della temperatura interna può essere notevole e superare il valore del 10% dei consumi di energia primaria totali, in positivo o in negativo. Si è anche osservato che l'incidenza percentuale di una variazione della temperatura interna è molto variabile da un'abitazione all'altra, a seconda dell'entità dei consumi energetici e a seconda dell'importanza degli apporti interni.
Analogamente a quanto visto per la temperatura esterna, una normalizzazione delle variazioni della temperatura interna può essere effettuata utilizzando il foglio di calcolo e simulando gli effetti di una variazione della temperatura interna (con un numero di simulazioni superiore rispetto a quanto effettuato in questo lavoro) al fine di arrivare ad una funzione che descriva in maniera sufficientemente approssimata le correlazioni tra la temperatura interna e i consumi di riscaldamento. In questo caso, si ricordi che il foglio di calcolo prevede un unico valore della temperatura interna, che pertanto deve essere considerato come valore medio per tutta l'abitazione.
La validazione di tale funzione può essere effettuata solo attraverso un confronto con i consumi reali dell'abitazione, con tutte le incertezze derivanti dalla mancanza di dati storici. Per questo motivo conviene distinguere due fasi operative:

- una prima fase nella quale, in assenza di dati storici, si utilizzano i dati delle bollette energetiche, si suppone una temperatura interna media pari a 20°C e quanto dichiarato nel foglio di calcolo;
- una seconda fase, nella quale si utilizzano i dati resi disponibili dallo smart home, che pertanto dovrà essere strutturato in maniera tale da acquisire le informazioni utili.

L'incidenza sui consumi di riscaldamento di una riqualificazione energetica dipende dal tipo di intervento effettuato e può essere anche molto elevata, potendo facilmente superare per taluni interventi il 25%.

Anche in questo caso si possono prevedere due diverse modalità di validazione degli effetti di un intervento di riqualificazione energetica:

- una prima modalità, in assenza di dati storici, necessariamente deve fare riferimento alla simulazione, utilizzando i dati delle bollette energetiche, dati standard per la temperatura esterna (UNI 10349) e per la temperatura interna (20°C) e quanto dichiarato nel foglio di calcolo;
- una seconda modalità, nella quale si utilizzano i dati resi disponibili dallo smart home.

Si è detto che lo scopo di questo lavoro è l'individuazione di una procedura per la qualificazione e per la validazione dei consumi energetici dell'abitazione, da utilizzare per una valutazione condivisa del risparmio energetico ed economico conseguente alle installazioni effettuate e per ripartire correttamente, tra l'aggregatore e l'utente finale, profitti (o perdite) derivanti dagli investimenti effettuati.

È ovvio che una variazione della temperatura esterna non debba essere imputata né all'aggregatore né all'utente finale e che i consumi energetici connessi al riscaldamento debbano essere normalizzati rispetto al particolare andamento climatico della stagione di riscaldamento.

Appare altrettanto facile l'attribuzione dei risparmi derivanti da una riqualificazione energetica, che dovranno essere attribuiti al soggetto che sostiene l'investimento o in misura proporzionale all'investimento effettuato in caso di investimento congiunto.

Più complessa l'attribuzione dei risparmi (o delle perdite) derivanti da una variazione della temperatura interna; da un lato si deve evitare che a una riduzione dei consumi energetici si accompagni una indesiderata riduzione del comfort degli occupanti; dall'altro l'utente deve essere responsabilizzato verso una percezione "normale" del comfort termico che nella stagione invernale si ha per una temperatura mediamente pari a 20°C.
In questo caso si potrebbe procedere attribuendo al soggetto che ha installato il kit di automazione (l'aggregatore probabilmente) una percentuale di risparmio pari a quella risultante dal foglio di calcolo e all'utente i risparmi (o le perdite) derivanti da una temperatura interna minore (o maggiore) rispetto alla temperatura di comfort.

E' necessario quindi stabilire come effettuare la valutazione della temperatura interna ai fini del calcolo dei risparmi e delle perdite.

Considerando che l'impianto di riscaldamento sia dotato di un sistema di regolazione in grado di regolare la temperatura del singolo ambiente, si può affermare che:

- una temperatura interna inferiore alla temperatura di comfort si ha solo con impianto di riscaldamento spento (o durante il transitorio di avviamento);
- una temperatura interna superiore al valore di comfort si può avere per effetto dell'impianto di riscaldamento (se è impostato per raggiungere una temperatura superiore alla temperatura corretta di comfort), di apporti interni o anche di apporti esterni.

Sulla base delle considerazioni precedenti, si può ipotizzare che il valore della temperatura interna da considerare nel calcolo dei risparmi è pari:

- alla temperatura misurata se questa è minore della temperatura di comfort;
- alla temperatura di comfort se la temperatura misurata è maggiore o uguale della temperatura di comfort.

Il risparmio derivante da una minore temperatura interna può essere ottenuto valutando lo scostamento medio rispetto al valore di comfort.

Diversamente, nel caso in cui l'utente decida di impostare una temperatura interna maggiore della temperatura di comfort, le perdite derivanti da questo suo comportamento possono essere conteggiate valutando la differenza tra il valore impostato e il valore di comfort.

Oltre la temperatura impostata di comfort non si hanno consumi energetici, in considerazione del fatto che si è ipotizzato un impianto dotato di sistema di regolazione per singolo ambiente.

Per arrivare ad un valore unico della temperatura interna da considerare nel calcolo si può effettuare una media pesata tra i vari ambienti considerando come pesi le potenze dei radiatori presenti; inoltre, per arrivare ad una più fedele ripartizione dei risparmi e delle perdite, le medie possono calcolate su base mensile.

Per poter consentire le elaborazioni e i calcoli sopra descritti, il kit di automazione dovrà quindi prevedere:
- l'acquisizione e la registrazione della temperatura esterna con intervallo almeno orario;
- la misura e la registrazione della temperatura interna di ogni ambiente con intervallo almeno orario;
- la regolazione per singolo ambiente dell'impianto di riscaldamento;
- la misura del consumo di gas del sistema di generazione con dettaglio almeno mensile per gli impianti alimentati a gas;
- la misura del consumo di energia elettrica del sistema di generazione con dettaglio almeno mensile per gli impianti alimentati elettricamente.

5.4.2 Consumi energetici di raffrescamento

I consumi energetici per il raffrescamento degli ambienti rappresentano mediamente il 3.6% dei consumi di energia primaria totali di un'abitazione. Nel caso in cui il raffrescamento è alimentato elettricamente, questo rappresenta un importante carico accumulabile.
In virtù della minore importanza, la valutazione dei consumi energetici connessi al raffrescamento può essere effettuata con una attenzione minore rispetto a quanto visto per il riscaldamento.

La differenza sostanziale tra il servizio di riscaldamento ed il servizio di raffrescamento è rappresentata dall'estensione del servizio; molto raramente si hanno abitazioni in cui l'impianto è al servizio dell'intera abitazione con un'unica macchina per la produzione del freddo, come invece avviene per il riscaldamento; più comune è il caso di impianti con unità ad espansione diretta al servizio solo di alcuni ambienti.

5.4.2.1 Impianti al servizio dell'intera abitazione

Nel caso di impianti al servizio dell'intera abitazione, i consumi energetici connessi al raffrescamento possono avere un'incidenza più alta rispetto al valore medio sopra riportato.
Con riferimento a tali impianti, possono valere ancora le considerazioni svolte per il riscaldamento circa le modalità di attribuzione dei risparmi (o delle perdite) conseguenti a diversi andamenti della temperatura esterna, a diversi valori della temperatura interna, a interventi di riqualificazione energetica, con l'accortezza di cambiare i segni ove necessario e di cambiare la temperatura di comfort.
Per questi impianti il kit di automazione dovrà prevedere dotazioni analoghe a quelle viste per il riscaldamento:
- l'acquisizione e la registrazione della temperatura esterna con intervallo almeno orario;
- la misura e la registrazione della temperatura interna di ogni ambiente con intervallo almeno orario;
- la regolazione per singolo ambiente dell'impianto di raffrescamento;
- la misura del consumo di gas del sistema di generazione con dettaglio almeno mensile per gli impianti alimentati a gas;
- la misura del consumo di energia elettrica del sistema di generazione con dettaglio almeno mensile per gli impianti alimentati elettricamente.

Si osservi che molte delle dotazioni qui indicate sono già state indicate per l'impianto di riscaldamento.

5.4.2.2 Impianti al servizio solo di alcuni ambienti

Nel caso di impianti al servizio solo di alcuni ambienti, l'incidenza dei consumi energetici è minore e, come si è visto, aumenta anche la difficoltà di individuare una correlazione tra i consumi di raffrescamento e le variabili che li influenzano.

Si può quindi procedere definendo una franchigia (ad esempio del 4%) al di sotto della quale i consumi energetici di raffrescamento vengono solo stimati attraverso il foglio di calcolo, utilizzando le informazioni messe a disposizione dal kit di automazione, senza nessuna implementazione ulteriore.

Al di sopra della franchigia si può decidere di installare uno smart plug per controllare ognuna delle unità esterne che costituiscono l'impianto di raffrescamento.

La valutazione e l'attribuzione dei risparmi derivanti da interventi di riqualificazione energetica può essere effettuata analogamente a quanto visto per il riscaldamento; anche in questo caso si possono prevedere due diverse modalità di validazione degli effetti di un intervento di riqualificazione energetica:

- una prima modalità, in assenza di dati storici, necessariamente deve fare riferimento alla simulazione, utilizzando i dati delle bollette energetiche, dati standard per la temperatura esterna (UNI 10349) e per la temperatura interna (26°C) e quanto dichiarato nel foglio di calcolo;
- una seconda modalità, nella quale si utilizzano i dati resi disponibili dallo smart home.

5.4.3 Consumi energetici per la preparazione dell'acqua calda sanitaria

I consumi energetici per la preparazione dell'acqua calda sanitaria (ACS) rappresentano mediamente il 13.9% dei consumi di energia primaria totali di un'abitazione.
Per questo motivo è fondamentale che i consumi energetici connessi a tale servizio siano identificati con certezza attraverso delle misurazioni, utili a individuare in maniera corretta l'influenza del comportamento dell'utente e di eventuali interventi di risparmio energetico.
Possono presentarsi abitazioni nelle quali il sistema di preparazione dell'acqua calda sanitaria è alimentato a gas e abitazioni nelle quali è alimentato elettricamente; nei casi in cui il servizio è alimentato elettricamente, questo rappresenta un importante carico accumulabile; nelle abitazioni dotate di impianto di riscaldamento autonomo, la caldaia preposta al riscaldamento provvede quasi sempre anche alla preparazione di acqua calda sanitaria.

Al fine di valutare in maniera corretta i consumi per l'ACS è necessario che attraverso lo smart home si proceda con una misura diretta:

- nel caso di caldaie a gas si dovrà provvedere alla misura del consumo di gas della caldaia;
- nel caso di scaldaacqua elettrici sarà necessario installare uno smart plug per controllarne il funzionamento.

La valutazione e l'attribuzione dei risparmi derivanti da interventi di riqualificazione energetica può essere effettuata analogamente a quanto già visto prevedendo due diverse modalità di validazione:

- una prima modalità, in assenza di dati storici, necessariamente deve fare riferimento alla simulazione, utilizzando i dati delle bollette energetiche, dati standard per l'utilizzo del servizio e quanto dichiarato nel foglio di calcolo;
- una seconda modalità, nella quale si utilizzano i dati resi disponibili dallo smart home.

5.4.4 Consumi energetici per lavaggio

I consumi energetici per lavaggio incidono mediamente per il 5.5% dei consumi di energia primaria totali di un'abitazione. I consumi elettrici per lavaggio costituiscono larga parte dei consumi differibili.

Per questi motivi è fondamentale che i consumi energetici connessi a tale servizio siano identificati con certezza attraverso delle misurazioni, utili a individuare in maniera corretta l'influenza del comportamento dell'utente e di eventuali interventi di risparmio energetico.
Le apparecchiature da monitorare sono lavatrici, lavastoviglie, asciugatrici e lavasciuga e sono tutte alimentate elettricamente.
Per ognuna di queste utenze sarà necessario installare uno smart plug.

La valutazione e l'attribuzione dei risparmi derivanti da interventi di riqualificazione energetica può essere effettuata analogamente a quanto già visto prevedendo due diverse modalità di validazione:

- una prima modalità, in assenza di dati storici, necessariamente deve fare riferimento alla simulazione, utilizzando i dati delle bollette energetiche, dati standard per l'utilizzo e quanto dichiarato nel foglio di calcolo;
- una seconda modalità, nella quale si utilizzano i dati resi disponibili dallo smart home.

5.4.5 Consumi energetici della cucina

I consumi energetici delle apparecchiature di cucina incidono mediamente per il 12.4% dei consumi di energia primaria totali di un'abitazione.
Si è visto che larga parte dei consumi energetici della cucina sono attribuibili al piano cottura, al forno ed al forno a microonde; pertanto è su tali apparecchiature che deve essere posta attenzione. Il piano cottura è in generale alimentato a gas, mentre il forno è nella maggior parte dei casi elettrico.
La valutazione dei consumi di gas della cucina può essere effettuata per differenza, a partire dai consumi generali dell'abitazione rilevati dal contatore di fornitura dell'ente erogatore e sottraendo i consumi di gas misurati dal contatore posto a misura dei consumi della caldaia.

Per quanto riguarda i consumi elettrici del piano cottura (se elettrico), del forno e del forno a microonde si può procedere con una stima preliminare volta a valutarne l'incidenza percentuale, definendo una franchigia (ad esempio del 4%) al di sotto della quale i consumi energetici connessi a tali apparecchiature vengono solo stimati attraverso il foglio di calcolo, utilizzando le informazioni disponibili, senza nessuna implementazione ulteriore.
Nel caso in cui risultino superiori al valore della franchigia, deve essere valutata la possibilità di installare uno smart plug, in funzione del collegamento elettrico esistente del piano cottura, del forno e del forno a microonde.

5.4.6 Consumi energetici per illuminazione

I consumi energetici per l'illuminazione degli ambienti incidono mediamente per il 2.8% dei consumi di energia primaria totali di un'abitazione.
L'incidenza è mediamente bassa e sono possibili facili interventi di sostituzione delle lampade.
Si tratta tuttavia di utenze facilmente trascurate (lampade che rimangono accese) e per le quali l'introduzione di un sistema di automazione può consentire notevoli risparmi energetici.

Per questo motivo si potrebbe pensare di inserire dei sensori di presenza e luminosità che controllino l'accensione dell'impianto di illuminazione, attribuendo al soggetto che ha installato il kit di automazione (l'aggregatore probabilmente) una percentuale di risparmio pari a quella risultante dal foglio di calcolo.

La valutazione e l'attribuzione dei risparmi derivanti da interventi di sostituzione delle lampade può essere effettuata analogamente a quanto già visto prevedendo due diverse modalità di validazione:

- una prima modalità, in assenza di dati storici, necessariamente deve fare riferimento alla simulazione, utilizzando i dati delle bollette energetiche e quanto dichiarato nel foglio di calcolo;
- una seconda modalità, nella quale si utilizzano i dati resi disponibili dallo smart home.

5.4.7 Altri consumi energetici

Nei paragrafi precedenti è stato affrontato il problema della valutazione dei consumi energetici relativi al riscaldamento, al raffrescamento, alla preparazione di acqua calda sanitaria, al lavaggio, alla cucina e all'illuminazione.
L'incidenza complessiva di tali servizi è mediamente pari all'81.8% e rappresenta quindi una quota rilevante dei consumi complessivi dell'abitazione.
Restano fuori una serie di servizi che, in generale, hanno un'incidenza singola relativamente bassa (inferiore al 4%), con la sola eccezione del servizio "Computer-internet" che mediamente incide per il 4.2%.
I consumi energetici di tali servizi, salvo situazioni particolari, possono essere stimati attraverso la procedura implementata nel foglio di calcolo.
Al di sopra della franchigia si può decidere di installare uno smart plug per controllare l'apparecchiatura responsabile del consumo.

5.4.8 Considerazioni riepilogative

Alla luce delle considerazioni precedentemente esposte, può essere definita la dotazione essenziale di uno smart home ai fini di una valutazione condivisa del risparmio energetico ed economico conseguente agli interventi e alle installazioni effettuate.

Tabella 5.1 – Dotazione essenziale smart home.

Impianto / Servizio	**Requisito/ misura / valore da acquisire**	**Intervallo minimo di acquisizione**	**Franchigia**
Riscaldamento	regolazione impianto per singolo ambiente		
	temperatura esterna (acquisizione)	orario	nessuna
	temperatura interna di ogni ambiente	orario	nessuna
	consumo di gas del sistema di generazione (se alimentato a gas); consumo di energia elettrica del sistema (se alimentato elettricamente)	mensile	nessuna
Raffrescamento (se al servizio dell'intera abitazione)	regolazione impianto per singolo ambiente		
	temperatura esterna (acquisizione)	orario	nessuna
	temperatura interna di ogni ambiente	orario	nessuna
	consumo di gas del sistema di generazione (se alimentato a gas); consumo di energia elettrica del sistema (se alimentato elettricamente)	mensile	nessuna
Raffrescamento (se al servizio solo di alcuni ambienti)	uno smart plug per controllare ognuna delle unità esterne che costituiscono l'impianto di raffrescamento (se i consumi sono superiori alla franchigia)	orario	4%
Preparazione acqua calda sanitaria	consumo di gas del sistema di generazione (se alimentato a gas); smart plug per controllare il funzionamento (se alimentato elettricamente)	mensile (a gas); orario (elettrico)	nessuna
Lavaggio	uno smart plug per controllare ognuna delle apparecchiature presenti (lavatrici, lavastoviglie, asciugatrici, lavasciuga)	orario	nessuna
Cucina	uno smart plug per controllare ognuna delle apparecchiature elettriche di cucina (se i consumi sono superiori alla franchigia)	orario	4%
Illuminazione	sensori di presenza e luminosità che controllino l'accensione dell'impianto	orario	nessuna
Altre apparecchiature	uno smart plug per controllare eventuali altre apparecchiature (se i consumi sono superiori alla franchigia)	orario	4%

Ricordando le caratteristiche dei kit di automazione ENEA (Tabella 5.2) e osservando la possibilità che per alcune delle dotazioni elencate si possa avere un utilizzo promiscuo, la dotazione indicata è molto simile a quella prevista dalla configurazione del kit ENEA HIGH, con implementazione dell'acquisizione della temperatura esterna (anche da stazioni climatiche poste nelle vicinanze dell'abitazione), con introduzione di un numero di smart plug da valutare di caso in caso, in base alle considerazioni effettuate.

Tabella 5.2 – Caratteristiche kit di automazione ENEA.

Device		numero di dispositivi per tipologia di configurazione		
		LOW	MEDIUM	HIGH
Funzione	Tipo	quantità	quantità	quantità
Monitoraggio	METER elettricità	1	1	1
	METER gas			1
	Multisensore temperatura, presenza, luminosità	1	1 per stanza	1 per stanza
	Rilevatore apertura e chiusura finestre/porte	1	1	1 per finestra + 1
Controllo	Smart valve		1 per radiatore	1 per radiatore
	Smart plug	2	4	6
Energy box	Gateway	1	1	1

5.5 Definizione dello schema di contratto

Ultimo passo della procedura è la definizione dello schema di contratto per la remunerazione dell'intervento. A seconda della forma contrattuale scelta, in funzione delle modalità di finanziamento degli interventi si dovrà decidere come ripartire i benefici derivanti dalle installazioni effettuate.
Fermo restando che tutti gli interventi pianificati hanno come risultato un probabile (se non sicuro) il risparmio energetico, non si dovrà dimenticare di prevedere la possibilità di un incremento dei consumi energetici conseguente a una diversa gestione energetica dell'abitazione, rappresentata da un maggior utilizzo della stessa rispetto a quanto preventivato o da condizioni climatiche sfavorevoli che possono incrementare i consumi energetici.

6 Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro è la predisposizione di una procedura per la qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici di edifici residenziali. Tale procedura si rende necessaria per la gestione dei rapport tra un ipotetico aggregatore ed il cliente finale, rappresentato in questo caso da un'utenza di tipo residenziale.

Utilizzando il foglio di calcolo realizzato nel corso della precedente annualità si è proceduto ad una raccolta più ampia di dati di utenze residenziali. Al crescere del numero di fogli di calcolo compilati, l'analisi dei dati raccolti ha consentito di sviluppare valutazioni approfondite di sensibilità sugli input, con individuazione di quelli maggiormente influenti ai fini della stima della prestazione energetica di un edificio residenziale.

Il risultato finale è la predisposizione di uno schema di procedura per la qualificazione e per la validazione dei consumi elettrici e termici, che potrà essere utilizzata per una valutazione condivisa del risparmio energetico ed economico conseguente all'installazione di uno smart home, di altre eventuali installazioni o di altri eventuali interventi effettuati.

Oltre alla riformulazione del foglio di calcolo in forma sintetica, con eliminazione degli input relativi ai servizi marginali, rimane da investigare la funzionalità della procedura su casi reali, a seguito dell'installazione di uno smart home.

7 Riferimenti bibliografici

[1] L. de Santoli, F. Mancini - Studio di un modello di aggregatore di uno smart district - Ricerca di Sistema Elettrico – settembre 2016

[2] L. de Santoli, F. Mancini, M. Cecconi - Sviluppo di una procedura semplificata per la valutazione del potenziale di aggregabilità di utenze residenziali - Ricerca di Sistema Elettrico – settembre 2017

[3] Smart Energy Demand Coalition (SEDC) - Demand Response: Clarification of the standard processes required between BRPs and independent aggregators.

[4] X. He, N. Keyaerts, I. Azevedo, L. Meeus, L. Hancher, J. Glachant - How to engage consumers in demand response: a contract perspective - European University Institute (2013). ISSN 1028-3625

[5] De Santoli L., Mancini F., Cecconi M. 2010. Riqualificazione dell'edilizia residenziale di una città. Il caso Roma AICARR JOURNAL, 18- 22, 1-2010;

[6] De Santoli L., Mancini F., Cecconi M. 2009 Analisi energetica e proposte di riqualificazione del patrimonio edilizio residenziale della città di Roma Energy analysis for retrofitting proposals in Rome residential sector. AiCARR OTTOBRE 2009 Tivoli (RM).

[7] ISTAT – I consumi energetici delle famiglie (2014)

[8] www.kilowattene.enea.it/KiloWattene-consumi-famiglie.html

[9] Raccomandazione CTI 14/2013 “Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione dell’energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell’edificio” e successive norme tecniche che ne conseguono;

[10] UNI/TS 11300-1 - Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale (2014)

[11] UNI/TS 11300-2 - Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l’illuminazione in edifici non residenziali (2014)

[12] UNI/TS 11300-3 - Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva (2010)

[13] UNI/TS 11300-4 - Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria (2012)

[14] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell’edilizia

[15] ASHRAE. 1997 ASHRAE Handbook - Fundamentals. Chapter 28: Nonresidential cooling and heating load calculations.

[16] Ip Seng Iu. 1999. Experimental validation of the radiant time series method for cooling load calculations. University of Macau.

[17] Spitler J.D., Fisher D.E., Pedersen C.O. 1997. The radiant time series cooling load calculation procedure. ASHRAE Transactions, Vol.103 part 2: 503-514.

[18] Ceylan, H.T., and G.E. Myers. 1985. Application of response-coefficient method to heat-conduction transients. ASHRAE Transactions 91(1A): 30-39

[19] Delsante A. E. 1991. A response-factor method for calculating coupled heat and moisture transfer in buildings.

Appendice: curriculum scientifico del gruppo di lavoro impegnato nell'attività

Prof. Livio de Santoli

Professore ordinario (ING-IND/11) presso Sapienza Università di Roma; cattedra di Energy Management (Facoltà ingegneria, corso di laurea in Ingegneria Energetica) e Impianti Tecnici (facoltà di Architettura, corso di laurea in Architettura UE).

- Delegato dell'Ateneo della Sapienza per l'Edilizia e l'Energia
- Già preside della Facoltà di Architettura Valle Giulia, Sapienza Università di Roma (2009-2010)
- Presidente di AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento, Refrigerazione, triennio 2014-2016
- Esperto di gestione dell'energia certificato secondo UNI-CEI 11339/2009 e in conformità con lo schema di cui all'art. 12 del Dl 102/2014
- Coordinatore dell'Osservatorio della Autorità dell'Energia AEEGSI sull'efficienza energetica
- Membro del Comitato Direttivo del Coordinamento FREE (Fonti Rinnovabili e Efficienza Energetica) tra le associazioni italiane delle fonti energetiche e dell'efficienza energetica
- Membro dell'International Advisory Board della rivista scientifica internazionale Building Services Engineering Research & Technology (UK)

Ing. Francesco Mancini

Ingegnere meccanico, Dottore di Ricerca in Energetica, Ricercatore di Fisica Tecnica Ambientale presso la Facoltà di Architettura dell'Università La Sapienza di Roma.
Docente dal 2002 presso la stessa Facoltà, dove è attualmente titolare dell'insegnamento di Impianti Tecnici.
Dal 1999 svolge attività di ricerca prima presso il Dipartimento di Fisica Tecnica poi presso il Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, dove si occupa prevalentemente di:

- procedure e metodologie per il controllo e il miglioramento della qualità energetico-ambientale in edilizia, con particolare riferimento allo studio del comportamento passivo dell'involucro edilizio;
- sistemi impiantistici a basso consumo di energia primaria, che impiegano fonti rinnovabili di energia o sistemi impiantistici ad alta efficienza;
- definizione di strategie di manutenzione per incrementare l'efficienza energetica di un patrimonio edilizio.

E' autore di 70 pubblicazioni scientifiche aventi come oggetto le ricerche svolte.

Ing. Marco Cecconi

Ingegnere elettrico ed elettronico, Dottore di Ricerca in Risparmio energetico e microgenerazione distribuita, libero professionista nel campo dell'uso razionale dell'energia.
Docente a contratto dal 2012 per università e istituti tra cui l'Università Sapienza e l'Università LUISS Guido Carli, sulle materie di Fisica Tecnica, Impianti, Efficienza energetica, Energie rinnovabili.
Ricercatore a contratto per università tra cui Sapienza e Marconi e aziende (Terna S.p.A., Avvenia s.r.l., Sustech s.r.l., Green network s.r.l.) su tematiche inerenti l'uso razionale dell'energia e sull'implementazione di software per la simulazione energetica dinamica degli edifici.
Responsabile della progettazione gli impianti elettrici del team Sapienza che rappresenterà l'Italia al Solar Decathlon Middle East 2018.
Libero professionista nel campo degli impianti, delle energie rinnovabili e della gestione razionale dell'energia, con oltre 80 incarichi completati.
Autore di 11 pubblicazioni scientifiche aventi come oggetto le ricerche svolte.