



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



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO



Ricerca di Sistema elettrico

# Aggiornamento modulo per la consapevolezza energetica di utenti residenziali

F. Mancini, M. Cecconi, L. de Santoli



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Report RdS/PTR2019/002

## AGGIORNAMENTO MODULO PER LA CONSAPEVOLEZZA ENERGETICA DI UTENTI RESIDENZIALI

F. Mancini, M. Cecconi, L. de Santoli  
Centro di ricerca Territorio Edilizia Restauro Ambiente  
Sapienza Università di Roma

Dicembre 2019

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA  
Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità  
Obiettivo: Tecnologie  
Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali  
Work package 1: Local Energy District  
Linea di attività 5: Aggiornamento modulo per la consapevolezza energetica di utenti residenziali  
Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA  
Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Valutazione della flessibilità della domanda di piccoli distretti energetici rivolto ad utenze di tipo residenziale e terziario"*

Responsabile scientifico ENEA: Sabrina Romano

Responsabile scientifico Sapienza Università di Roma: Francesco Mancini

## Indice

SOMMARIO .....	5
1 INTRODUZIONE .....	6
2 ATTIVITÀ DI ANALISI SUL DATABASE DEI CASI REALI .....	7
2.1 CARATTERISTICHE GENERALI DELLE ABITAZIONI .....	7
2.2 DOTAZIONI DELLE ABITAZIONI E USI .....	9
2.2.1 <i>Riscaldamento abitazione</i> .....	9
2.2.2 <i>Raffrescamento abitazione</i> .....	10
2.2.3 <i>Preparazione acqua calda sanitaria</i> .....	11
2.2.4 <i>Impianti fotovoltaici</i> .....	12
2.2.5 <i>Cucina</i> .....	13
2.2.6 <i>Refrigerazione</i> .....	13
2.2.7 <i>Lavaggio, pulizia stiratura</i> .....	14
2.2.8 <i>Illuminazione</i> .....	16
2.2.9 <i>Postazioni Audio-Video</i> .....	17
2.2.10 <i>Computer - Internet</i> .....	18
2.2.11 <i>Cura della persona</i> .....	19
2.2.12 <i>Altri apparecchi</i> .....	19
2.3 VALUTAZIONE DELL'INCIDENZA DEI SINGOLI SERVIZI SUI CONSUMI COMPLESSIVI .....	20
2.4 DEFINIZIONE DI BENCHMARK «INTERNI» DA AFFIANCARE A QUELLI DI LETTERATURA .....	22
2.4.1 <i>Consumi di gas</i> .....	23
2.4.2 <i>Consumi di energia elettrica</i> .....	24
2.4.3 <i>Elettificazione delle abitazioni</i> .....	26
2.4.4 <i>Carichi elettrici accumulabili</i> .....	27
2.4.5 <i>Carichi elettrici differibili</i> .....	29
3 ANALISI DI SCENARI EVOLUTIVI PER LE ABITAZIONI .....	31
3.1 PICCOLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA .....	31
3.2 INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DELL'ABITAZIONE .....	34
3.2.1 <i>Riqualificazione dell'involucro edilizio</i> .....	34
3.2.2 <i>Riqualificazione dei sistemi impiantistici di riscaldamento, raffrescamento e preparazione ACS</i> .....	36
3.2.3 <i>Interventi combinati di riqualificazione energetica dell'involucro edilizio e dei sistemi impiantistici</i> .....	38
3.2.4 <i>Quadro riepilogativo degli interventi di riqualificazione energetica</i> .....	39
3.3 INTRODUZIONE DI UN KIT DI AUTOMAZIONE .....	40
3.4 EFFETTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI .....	41
3.4.1 <i>Caratterizzazione energetica delle abitazioni nelle 4 città considerate</i> .....	42
3.4.2 <i>Variatione dei consumi energetici di riscaldamento e raffrescamento al variare della temperatura</i> .....	44
3.4.3 <i>Variatione dei consumi energetici di raffrescamento con aggiunta di climatizzatori</i> .....	46
3.4.4 <i>Variatione dei consumi energetici complessivi per gli scenari simulati</i> .....	49
3.4.5 <i>Analisi mensile dei consumi di raffrescamento: criticità e possibili soluzioni</i> .....	50
4 IMPLEMENTAZIONI DEL FOGLIO DI CALCOLO .....	53
4.1 RIDUZIONE DEL NUMERO DI INPUT .....	53
4.2 SEMPLIFICAZIONE DELL'INTERFACCIA DI OUTPUT .....	54
4.3 IMPLEMENTAZIONE DI FUNZIONI AGGIUNTIVE .....	55
4.4 IMPIANTI FOTOVOLTAICI .....	56
4.5 CONFRONTO TRA NUOVA E VECCHIA VERSIONE .....	58
5 CONCLUSIONI .....	59
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	60
APPENDICE: CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO IMPEGNATO NELL'ATTIVITÀ .....	61

LIVIO DE SANTOLI .....	61
FRANCESCO MANCINI .....	61
MARCO CECCONI .....	61

## Sommario

L'obiettivo di questo lavoro è stato l'aggiornamento del modulo di calcolo per la consapevolezza energetica di utenti residenziali.

Il lavoro si configura come una prosecuzione delle attività di precedenti annualità di ricerca e ne aggiorna i risultati, con semplificazioni volte a facilitare l'attività del compilatore non esperto e con implementazioni volte a completarne le funzionalità.

Nel corso dell'anno il database è stato arricchito, con aggiunta di 376 nuovi casi reali, arrivando così a 751 casi reali totali (+100%).

Il database è stato analizzato al fine di razionalizzare l'immissione dei dati da parte dell'utente. Ciò ha consentito di ridurre il numero di input da 187 a 144 (-23%).

La simulazione di scenari evolutivi per le abitazioni italiane ha evidenziato la necessità di implementare nuove funzioni. In particolare, avendo osservato che interventi di riqualificazione dell'abitazione hanno implicazioni significative sul potenziale di flessibilità, si è deciso di aggiungere una funzione che dia la possibilità di valutare gli effetti dei più comuni interventi di riqualificazione.

Rimane fuori da questa versione del foglio di calcolo la possibilità di valutare varianti aggiuntive alla configurazione dell'abitazione, rappresentate ad esempio dalle più comuni azioni di adattamento ai cambiamenti climatici, quali l'aggiunta di uno o più condizionatori.

## 1 Introduzione

L'obiettivo di questa attività è la predisposizione di un modulo di raccolta dati per una generica utenza da inserire in un programma di aggregazione di utenze residenziali.

Nel corso di precedenti annualità di ricerca [1] [2] [3] è stata definita una procedura di simulazione semplificata, volta ad una previsione dei consumi energetici reali di un'abitazione, con predisposizione di un foglio di calcolo in formato excel, che integra macro e funzioni scritte in Visual Basic for Applications (VBA). La procedura consente di valutare il potenziale di aggregazione dell'abitazione, sia in termini di utenze già elettriche sia in termini di utenze termiche che possono essere elettrificate. Con l'intenzione di rendere la procedura accessibile anche all'utente non esperto si è cercato di limitare al minimo la richiesta di informazioni tecniche, predisponendo, ove strettamente necessario, dei menù a scelta multipla con inserimento opportunamente guidato. Sono state, pertanto, individuate le informazioni necessarie per la caratterizzazione della tipologia di utenza dal punto di vista elettrico e termico e quelle necessarie a valutare il potenziale di aggregazione, rappresentato dall'incidenza assoluta e percentuale dei carichi elettrici accumulabili e differibili.

Il foglio di calcolo può essere utilizzato per acquisire informazioni sulle abitudini dei cittadini, con l'obiettivo di stabilire la loro domanda attiva in connessione alla partecipazione al sistema energetico attraverso l'elemento della flessibilità, ovvero la capacità di modulazione e variazione dei consumi.

Attraverso questo strumento, la ricerca vuole dare un contributo alla definizione del potenziale di flessibilità dei carichi elettrici delle utenze residenziali, in un contesto in cui l'elettrificazione dell'ambiente costruito è vista come uno dei principali driver della transizione energetica, per una più efficace integrazione delle risorse rinnovabili e fornire feedback per l'utente finale

Nelle annualità precedenti, la procedura è stata testata su un numero significativo di casi reali (375) per valutarne l'attendibilità e con l'obiettivo di costruire un database esteso da impiegare per analisi di sensibilità generali sui dati di input forniti dall'utente.

Le analisi effettuate hanno fornito importanti indicazioni per ulteriori sviluppi e affinamenti della procedura. Si è osservata una generale difficoltà da parte degli utenti a fornire le informazioni richieste e una scarsa conoscenza dei mercati dell'energia; inoltre, si è osservato che alcuni degli input richiesti all'utente hanno poca incidenza sul risultato finale.

Alla luce di quanto osservato, in questa annualità si è proceduto con le implementazioni del foglio di calcolo che hanno consentito di migliorarne la funzionalità, anche con la volontà di semplificare ove possibile l'immissione degli input da parte dell'utente.

Il risultato del lavoro di questa annualità di ricerca è il testing su ulteriori casi reali (altri 376) ed una nuova versione del foglio di calcolo.

Nei capitoli che seguono sono più diffusamente illustrate le attività svolte:

- nel capitolo 2 sono illustrate le analisi sul database completo finalizzate alla semplificazione del foglio di calcolo;
- nel capitolo 3 sono analizzati scenari evolutivi per le abitazioni finalizzate all'aggiunta di nuove funzioni del foglio di calcolo;
- nel capitolo 4 sono illustrate le implementazioni effettuate.

## 2 Attività di analisi sul database dei casi reali

La prima parte del lavoro ha avuto come obiettivo l'ampliamento del database con altri casi reali, al fine di arrivare ad un database sufficientemente ampio per effettuare analisi statistiche sui dati.

Sono stati raccolti ulteriori 376 questionari, raggiungendo complessivamente 751 casi reali e arrivando così a raddoppiare il numero di casi reali presenti.

Larga parte dei nuovi casi reali sono stati raccolti grazie alla collaborazione degli studenti della Facoltà di Architettura di Sapienza Università di Roma.

Nelle precedenti annualità di ricerca si era osservata una generale difficoltà al completamento del modulo di raccolta dati da parte degli utenti, soprattutto in ragione dell'elevata mole di input richiesti.

Per questo motivo erano state condotte analisi volte ad individuare l'incidenza dei singoli servizi sui consumi complessivi (in termini di energia primaria), finalizzate al congelamento di input poco significativi.

Tali analisi sono state replicate sul database esteso con la medesima finalità.

### 2.1 Caratteristiche generali delle abitazioni

La dimensione media delle abitazioni considerate è pari a 120,4 m<sup>2</sup>, oscillando tra un valore minimo di 22,5 m<sup>2</sup> ad un valore massimo di 648,0 m<sup>2</sup> (primo quartile = 80,0 m<sup>2</sup>; mediana = 105,2 m<sup>2</sup>; terzo quartile 140,0 m<sup>2</sup>).

Il numero medio di occupanti è pari a 3,4, oscillando tra un valore minimo di 1 e un valore massimo di 9. Maggiormente ricorrenti sono le abitazioni che hanno 4 occupanti (41,8%), 3 occupanti (26,1%) e 2 occupanti (17,8%); meno ricorrenti abitazioni con un numero inferiore o superiore di occupanti.

I grafici di Figura 2.1 riportano in dettaglio superfici e occupanti per le abitazioni considerate.

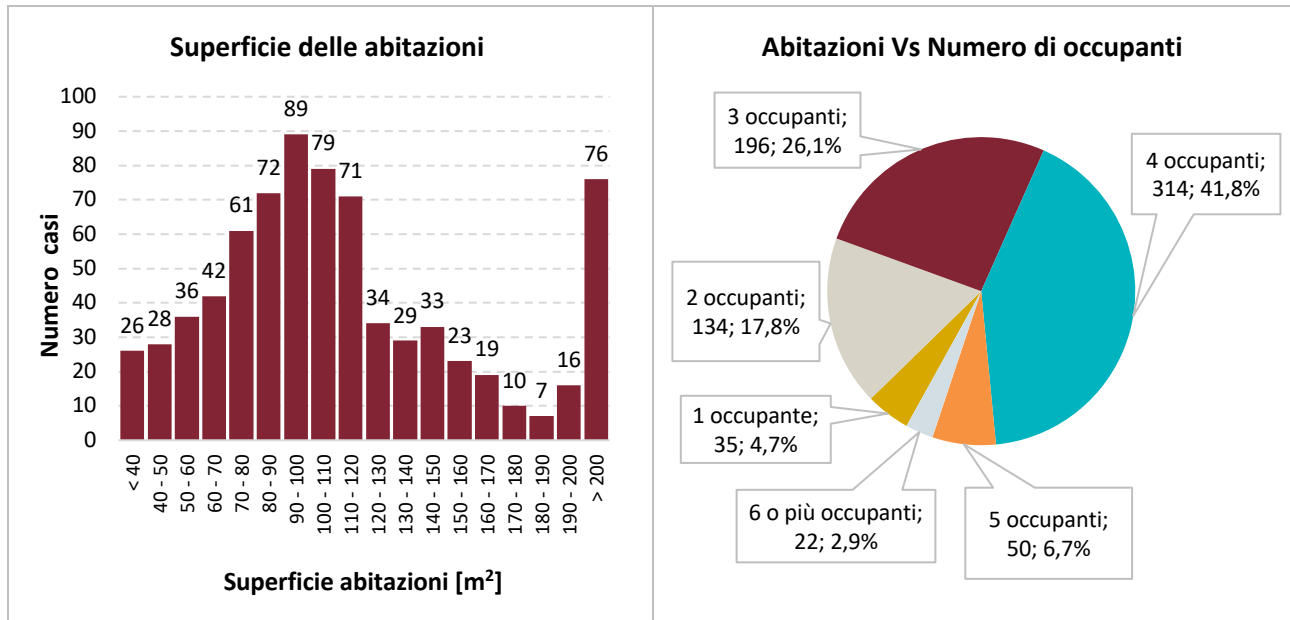


Figura 2.1 – Superficie delle abitazioni considerate e occupanti.

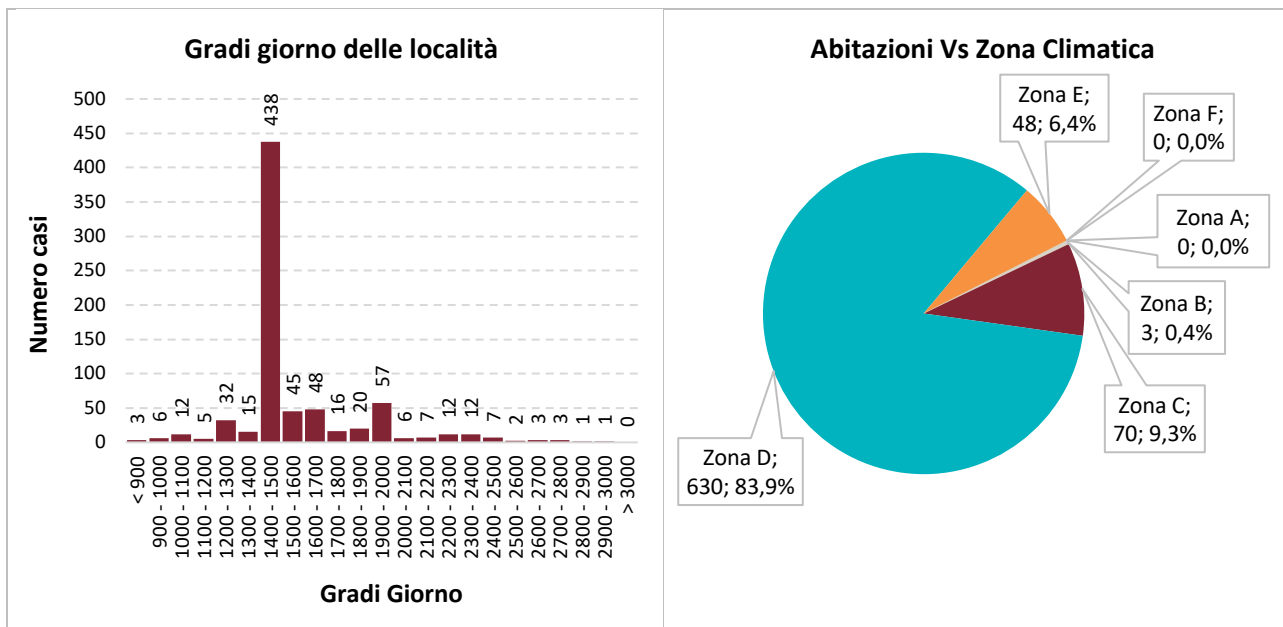
Con riferimento alla superficie pro-capite, è stata effettuata anche un'analisi statistica per un maggior dettaglio sulla distribuzione del campione.

Tale analisi è riportata in Figura 2.2 utilizzando la classica rappresentazione a "scatole e baffi", dove viene rappresentato un rettangolo verticale ("la scatola") diviso in due parti, da cui escono due segmenti ("i baffi"). Il rettangolo è delimitato dal primo e dal terzo quartile e diviso al suo interno dalla mediana. I segmenti sono delimitati dal minimo e dal massimo dei valori. All'interno delle scatole è anche indicato il valore medio.

Dall'esame del grafico si evidenzia come la superficie pro-capite diminuisca al crescere degli occupanti, fino ad arrivare a circa 33 m<sup>2</sup> a persona nelle abitazioni con 4 occupanti o più.

**Figura 2.2 – Superficie pro-capite in funzione del numero di occupanti.**

I grafici di Figura 2.3 riportano un dettaglio dei gradi giorno e della zona climatica per le abitazioni considerate; molte delle abitazioni considerate sono collocate a Roma e pertanto la zona climatica maggiormente rappresentata risulta la D.



**Figura 2.3 – Gradi giorno delle località e zona climatica per le abitazioni considerate.**

In Figura 2.4 è riportato il periodo di costruzione delle abitazioni considerate; in Tabella 2.1 è riportato il numero di abitazioni che hanno subito ristrutturazioni, suddiviso per periodo di costruzione e per tipologia di intervento; l'intervento di riqualificazione più frequente è la sostituzione delle finestre, effettuata in 370 abitazioni (49.3% del totale).



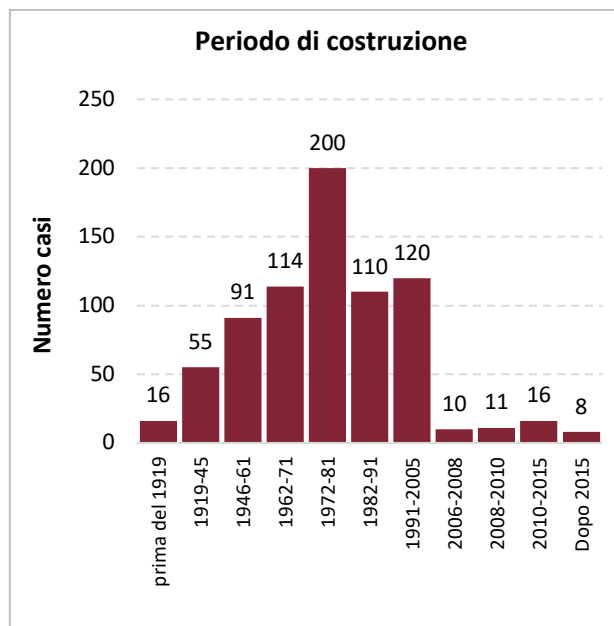


Figura 2.4 – Periodo di costruzione per le abitazioni considerate.

Tabella 2.1 – Interventi di riqualificazione effettuati nelle abitazioni.

Anno di costruzione dell'edificio	Intervento di riqualificazione			
	Pareti	Coperture	Pavimenti	Finestre
Prima del 1919	0 (0%)	1 (6,3%)	0 (0%)	8 (50%)
1919-45	4 (7,1%)	4 (7,1%)	6 (10,7%)	36 (64,3%)
1946-61	11 (12,1%)	12 (13,2%)	1 (1,1%)	68 (74,7%)
1962-71	21 (18,4%)	18 (15,8%)	8 (7%)	66 (57,9%)
1972-81	29 (14,6%)	31 (15,6%)	11 (5,5%)	111 (55,8%)
1982-91	14 (12,7%)	16 (14,5%)	9 (8,2%)	45 (40,9%)
1991-2005	27 (22,5%)	23 (19,2%)	15 (12,5%)	26 (21,7%)
2006-2008	2 (20%)	2 (20%)	1 (10%)	2 (20%)
2008-2010	2 (18,2%)	1 (9,1%)	0 (0%)	2 (18,2%)
2010-2015	7 (43,8%)	7 (43,8%)	6 (37,5%)	3 (18,8%)
after 2015	3 (37,5%)	4 (50%)	3 (37,5%)	3 (37,5%)
TOTALE	120 (16%)	119 (15,8%)	60 (8%)	370 (49,3%)

## 2.2 Dotazioni delle abitazioni e usi

In questo paragrafo è riportato un quadro riepilogativo delle dotazioni delle abitazioni; tale paragrafo ricalca quanto riportato nel report relativo all'attività di ricerca 2017 aggiornandone i contenuti.

### 2.2.1 Riscaldamento abitazione

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 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 2.5).

3.1 IMPIANTO DI RISCALDAMENTO		
Tipo di impianto di riscaldamento	Centralizzato	Impianto autonomo a gas con radiatori e termostato
Tipo di generatore di calore	Caldaia a gas naturale a condensazione	
Classe energetica media in riscaldamento		Impianto centralizz. a gas con radiatori
Terminali in ambiente	Radiatori (termosifoni)	
Modalità di regolazione	Termostato manuale	

Figura 2.5 – Inpu per 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 (72,3%), rispetto agli impianti centralizzati (27,7%) e degli impianti alimentati a gas (98,5%), rispetto agli impianti alimentati elettricamente (1,5%), così come illustrato in Figura 2.6.

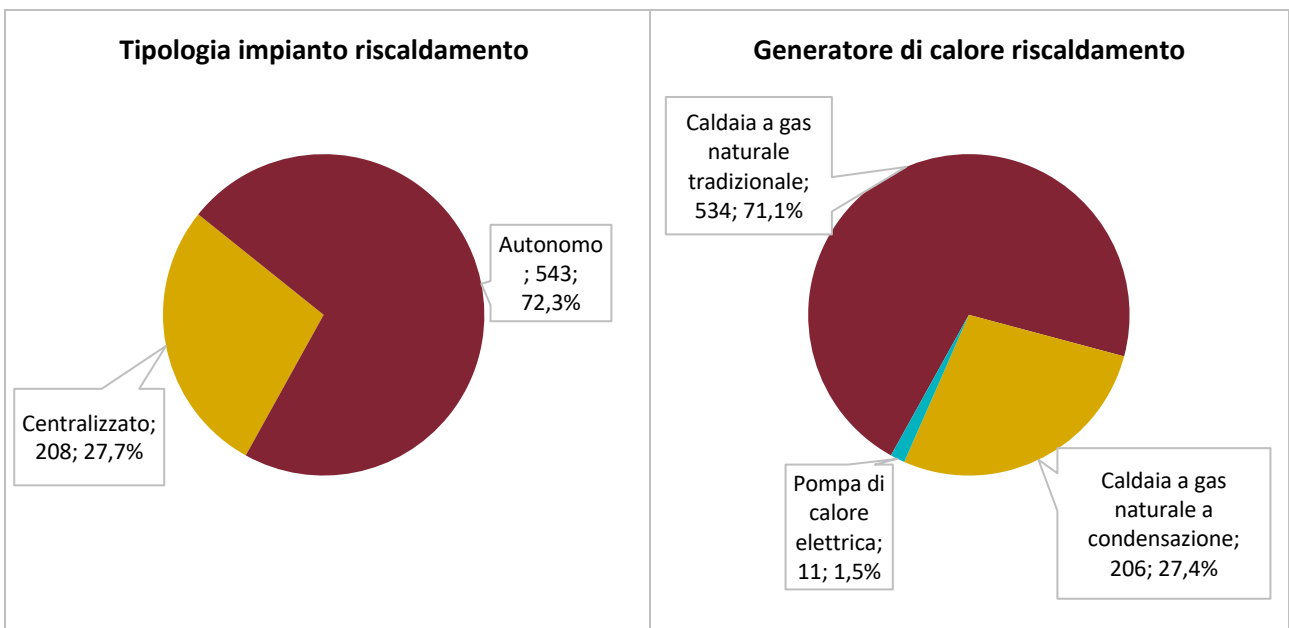


Figura 2.6 – Impianti di riscaldamento nelle abitazioni.

### 2.2.2 Raffrescamento abitazione

Nel questionario proposto agli utenti, sono state assimilate a “impianto di raffrescamento” 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 2.7).

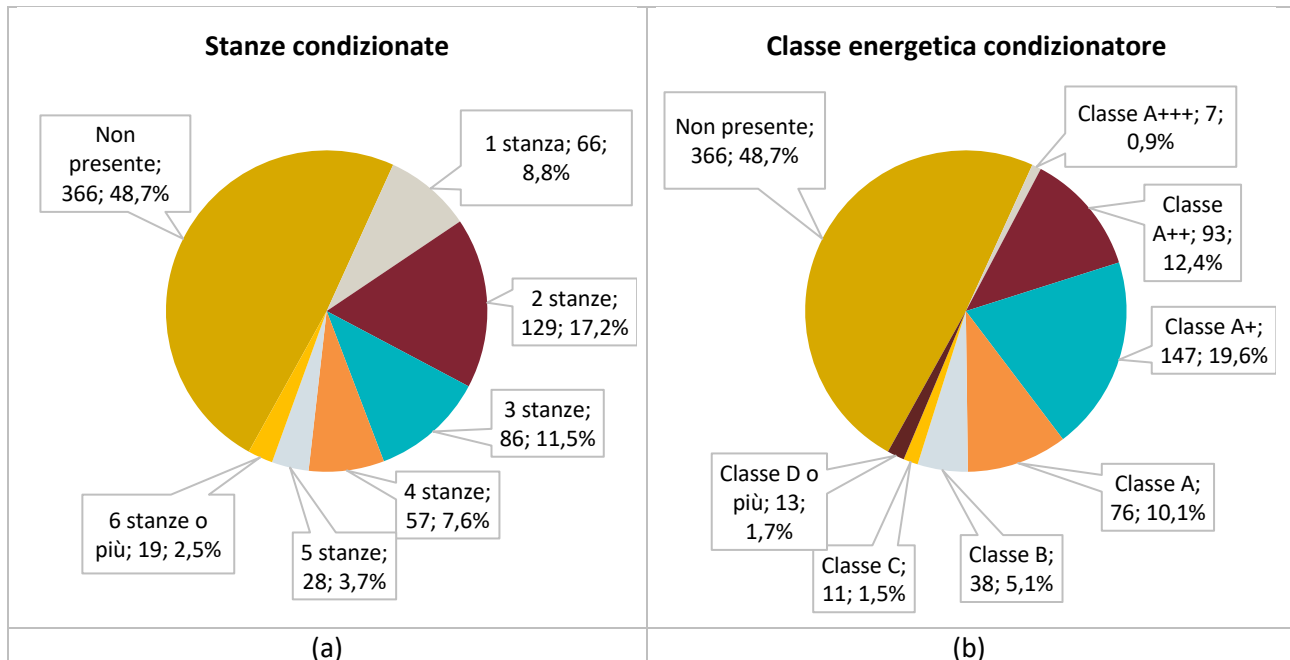
3.2 IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO			
Tipo di impianto di raffrescamento	Condizionatore elettrico	Nessun condizionatore	
Classe energetica media in raffrescamento	A+		
Numero di stanze climatizzate	2 su un totale di 7 stanze	Condizionatori in tutte le stanze	
<b>ALTRI APPARECCHI</b>		Nessun apparecchio	
	<b>QUANTITA'</b>		<b>ORE USO GIORNALIERO</b>
Ventilatore			
Deumidificatore portatile			

Figura 2.7 – Input per impianto di raffrescamento.

Tra le abitazioni considerate, solo 580 (77,2%) sono dotate di apparecchiature utili al raffrescamento nella stagione estiva; le restanti 171 (22,8%) ne sono prive. In particolare, in 385 abitazioni è presente almeno un condizionatore elettrico fisso, in 264 (35,2%) abitazioni è presente almeno un ventilatore e in 42 (5,6%) abitazioni è presente almeno un deumidificatore portatile.

Ove presenti i condizionatori elettrici fissi sono al servizio di un numero limitato di stanze; il numero medio di stanze climatizzate è pari a 2,9. Solo il 13,8% delle abitazioni ha un numero di stanze climatizzate superiore a 3 (Figura 2.8°).

Per quanto riguarda la classe energetica, larga parte dei condizionatori fissi (323/385; 83,9%) ha una classe energetica pari alla A o migliore (Figura 2.8b).



**Figura 2.8 – (a) Abitazioni e numero di stanze climatizzate; (b) Classe energetica condizionatori.**

### 2.2.3 Preparazione acqua calda sanitaria

Relativamente agli impianti per la preparazione dell'acqua calda sanitaria, è possibile scegliere tra diverse tipologie (caldaia tradizionale, caldaia a condensazione, scaldabagno a pompa di calore, scaldabagno elettrico a resistenza) e indicare la eventuale presenza di un impianto solare termico (a circolazione naturale o forzata, con pannelli piani o sottovuoto) con le relative caratteristiche dimensionali (numero di pannelli) e di collocazione (inclinazione e orientamento) (Figura 2.9).

3.3 IMPIANTO DI PREPARAZIONE DELL'ACQUA CALDA SANITARIA	
Tipo di impianto di preparazione dell'acqua calda sanitaria	Caldaia a condensazione
3.4 IMPIANTO SOLARE TERMICO (per acqua calda)	
Tipo di impianto	Nessuno
Numero di pannelli solari termici	
Inclinazione (tilt)	
Orientamento rispetto al sud (azimut)	

**Figura 2.9 – Impianto di preparazione acqua calda sanitaria.**

Sulla base dei questionari raccolti, in tutte le abitazioni considerate è presente un impianto per la preparazione di acqua calda sanitaria, con una netta prevalenza delle caldaie istantanee (77,5%), rispetto alle altre tipologie, quali caldaia a condensazione con accumulo integrato (7,7%), scaldabagni elettrici (12,5%) e scaldabagni a pompa di calore (2,1%) (Figura 2.10a). Complessivamente, solo il 14,8% degli impianti di preparazione dell'acqua calda sanitaria è alimentato elettricamente.

Solo il 4,7% delle abitazioni considerate è dotato di un impianto solare termico per la preparazione di acqua calda sanitaria (Figura 2.10b).

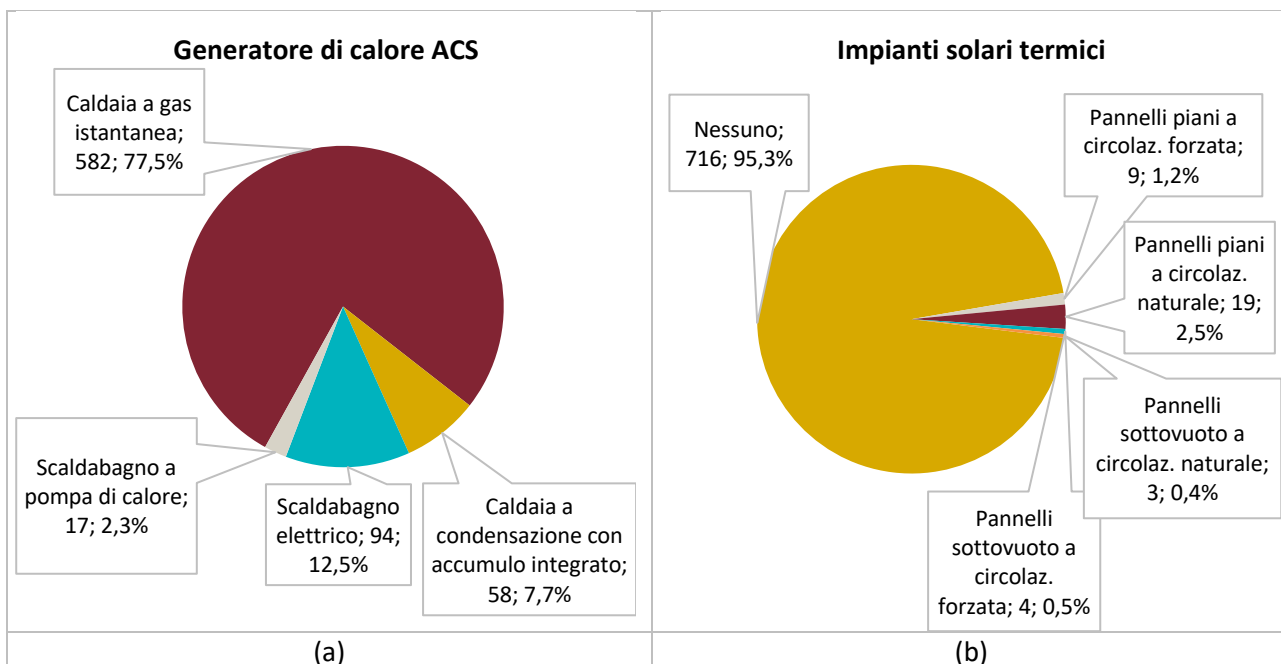


Figura 2.10 – Impianti di preparazione ACS; (a) generatore di calore (b) impianti solari termici.

### 2.2.4 Impianti fotovoltaici

Relativamente agli impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica è possibile indicare l’eventuale presenza dell’impianto con le relative caratteristiche dimensionali (potenza dell’impianto fotovoltaico) e di collocazione (inclinazione e orientamento) (Figura 2.11).

3.5 IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO (per energia elettrica)	
Potenza dell’impianto fotovoltaico	0,00 kWp
Inclinazione (tilt)	°
Orientamento rispetto al sud (azimut)	°

Figura 2.11 – Input per impianto solare fotovoltaico.

Solo il 7,2% delle abitazioni considerate è dotato di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica. Larga parte degli impianti presenti (39/54; 72.2%) ha una potenza inferiore a 3 kWp (Figura 2.12).

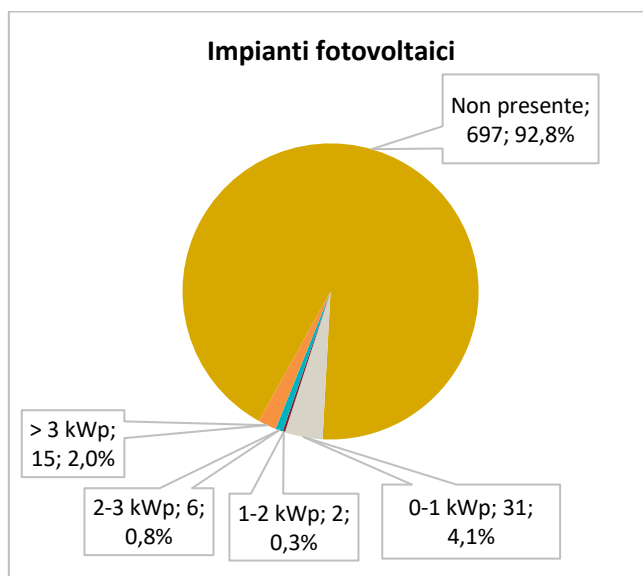


Figura 2.12 – Impianti fotovoltaici.

### 2.2.5 Cucina

Le informazioni relative agli usi energetici di cucina sono quelle riportate in Figura 2.13.

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 2.13 – Cucina.

Sulla base dei questionari raccolti, in tutte le abitazioni considerate sono presenti il piano cottura ed il forno; per quanto riguarda il piano cottura (Figura 2.14a), si ha una netta prevalenza dei piani di cottura a gas (97,6%), rispetto ai piani di cottura elettrici (0,7%) o elettrici a induzione (1,7%); per quanto riguarda il forno (Figura 2.14b), si ha una netta prevalenza dei forni elettrici (90,0%) rispetto ai forni a gas (10,0%).

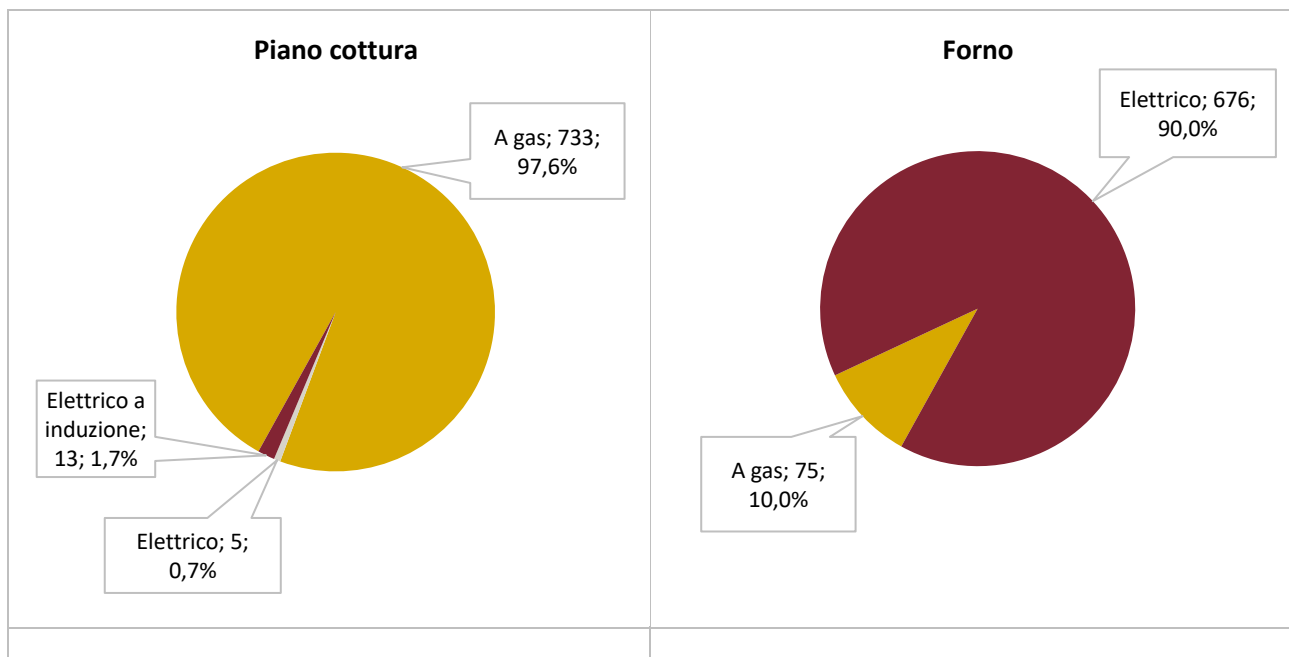


Figura 2.14 – Dotazioni cucina (a) piano cottura; (b) forno.

Relativamente alle altre apparecchiature di cucina considerate indistintamente (griglia, bistecchiera/piastra elettrica, tostapane, macchina caffè espresso elettrica, macchina moka elettrica, frullatore, robot cucina) è stato rilevato un uso marginale mediamente pari a circa 20 minuti al giorno.

### 2.2.6 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 (Figura 2.15).

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

Figura 2.15 – Refrigerazione, congelazione.

In tutte le abitazioni considerate è presente almeno un'apparecchiatura per la refrigerazione; in 127 abitazioni (16,9%) sono presenti due apparecchiature; in 18 abitazioni (2,4%) ne sono presenti tre; in una sola abitazione (0,1%) ne sono presenti quattro.

Mediamente nelle abitazioni sono presenti 1,3 apparecchiature per la refrigerazione.

La classe energetica delle apparecchiature è in generale buona (Figura 2.16); circa la metà (49,5%) delle apparecchiature ha una classe energetica uguale o migliore della classe A+; delle restanti il 22,4% è comunque in classe A.

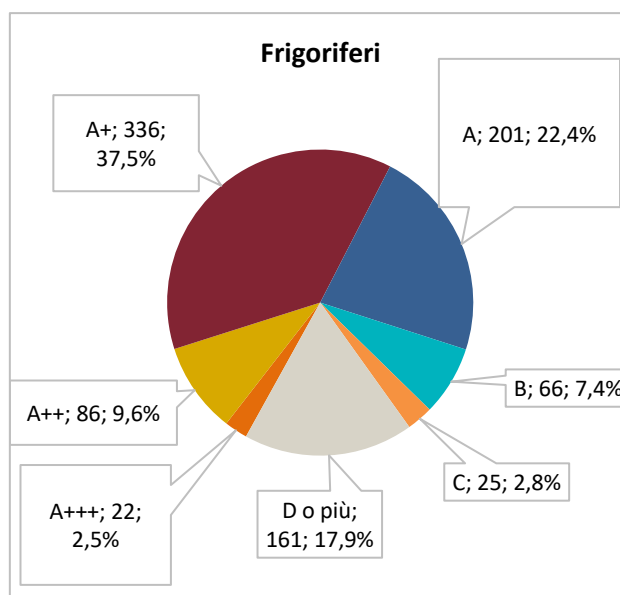


Figura 2.16 – Classe energetica delle apparecchiature per la refrigerazione.

### 2.2.7 Lavaggio, pulizia stiratura

Attraverso la sezione 4.3 del questionario vengono raccolte le informazioni relative alle attività di lavaggio pulizia e stiratura, così come illustrato in Figura 2.17.

Per i grandi elettrodomestici utilizzati per il lavaggio della biancheria e delle stoviglie (lavatrice, asciugatrice, lavastoviglie, lavasciuga) il foglio di calcolo prevede l'indicazione della capacità di carico, del numero di cicli settimanali e della classe energetica. Per aspirapolvere, scopa elettrica o ferro da stiro è richiesto unicamente di indicare i minuti di uso giornaliero.

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]			

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

Utilizzo medio in base al numero di persone

Altri apparecchi non inclusi nella lista possono essere inseriti in 4.8

Figura 2.17 –Lavaggio biancheria, asciugatura biancheria, lavaggio stoviglie.

Sulla base dei questionari raccolti (Tabella 2.2), in quasi tutte le abitazioni considerate è presente la lavatrice (744 abitazioni; 99,1% del totale), con 7 sole eccezioni (6 in cui è presente una lavasciuga; 1 abitazione in cui è assente). La lavastoviglie è presente solo nel 63,8 % delle abitazioni; la presenza dell'asciugatrice è limitata al 13,8% delle abitazioni.

Tabella 2.2 – Presenza e capacità dei grandi elettrodomestici.

	Presenza (% sul totale)	Capacità di carico (media)
Lavatrice	99,1%	7,0 kg
Lavasciuga	0,8%	7,2 kg
Asciugatrice	13,8%	7,4 kg
Lavastoviglie	63,8%	11,0 coperti

La classe energetica delle apparecchiature di lavaggio è in generale buona (Figura 2.18, Figura 2.19):

- per le lavatrici si hanno 705 lavatrici su 744 (94,8%) in classe A o migliore;
- per le lavasciuga si hanno tutte e 6 le lavasciuga in classe A;
- per le asciugatrici si hanno 96 asciugatrici su 104 (92,3%) in classe A o migliore;
- per le lavastoviglie si hanno 451 lavastoviglie su 479 (94,2%) in classe A o migliore.

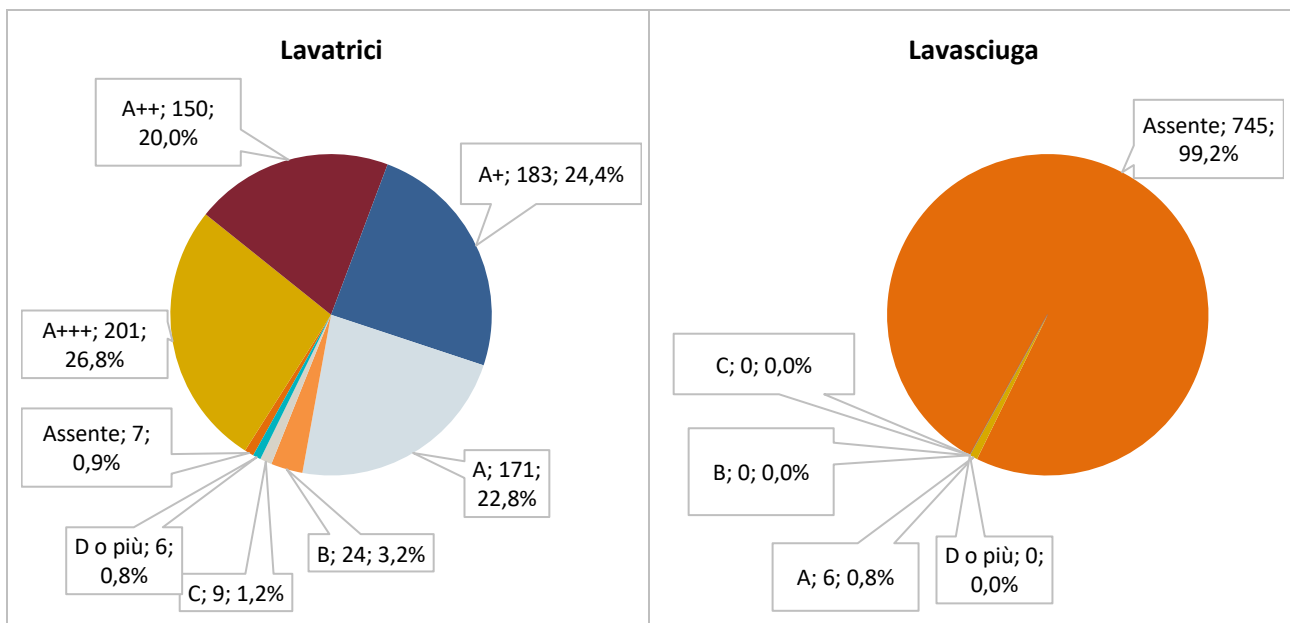


Figura 2.18 – Presenza e classe energetica di lavatrici e lavasciuga.

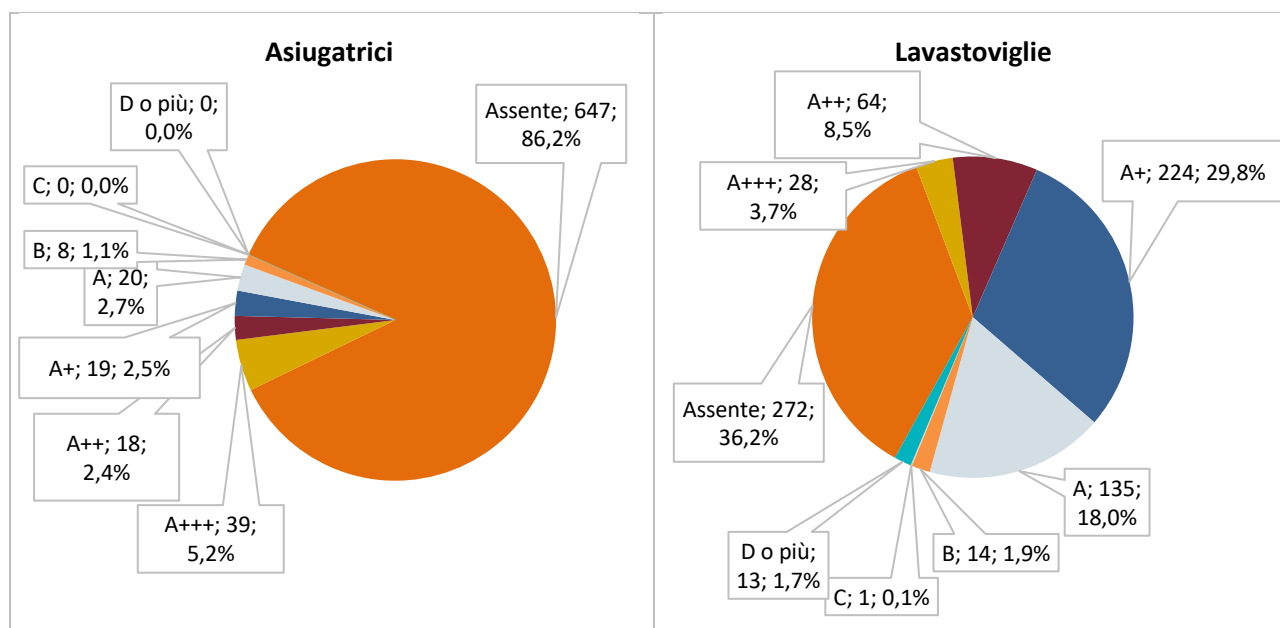


Figura 2.19 – Presenza e classe energetica di asciugatrici e lavastoviglie.

In 646 delle abitazioni considerate (86,0%) vengono utilizzati aspirapolvere o scope elettriche; l’utilizzo medio giornaliero è pari a 14,5 minuti.

In 653 delle abitazioni considerate (87,0%) vengono utilizzati ferri da stiro con o senza caldaia; l’utilizzo medio giornaliero è pari a 15,5 minuti.

### 2.2.8 Illuminazione

Le informazioni relative all’illuminazione degli ambienti sono quelle riportate in Figura 2.20 e prevedono una semplice numerazione delle lampade, con suddivisione tra le diverse tipologie (a incandescenza; alogene; fluorescenti; a led).

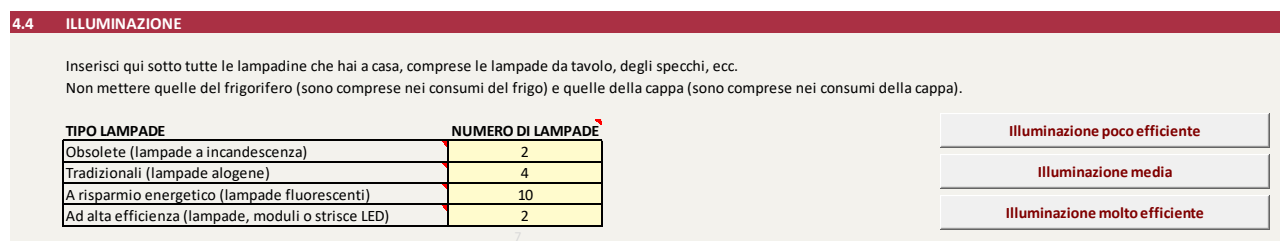


Figura 2.20 – Illuminazione ambienti.

Ovviamente, in tutte le abitazioni considerate è presente un impianto di illuminazione.

Larga parte delle lampade presenti nelle abitazioni considerate ha una elevata efficienza luminosa (Figura 2.21); in particolare il 71,9% delle lampade presenti sono del tipo fluorescenti compatte oppure a LED.



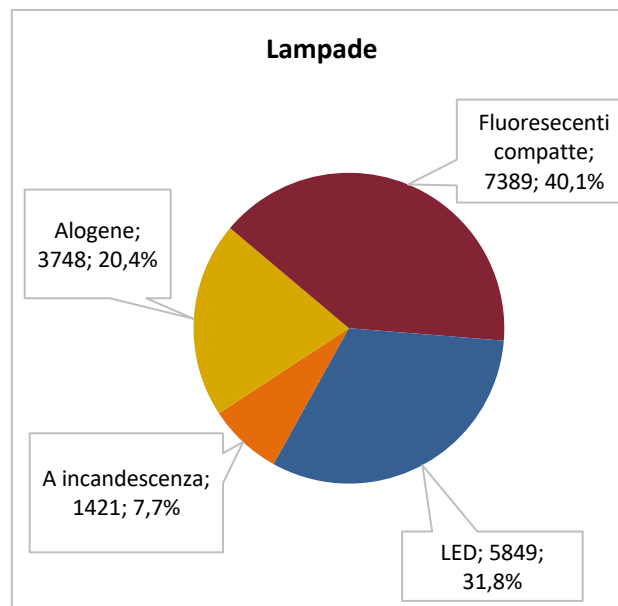


Figura 2.21 – Tipologia di lampade presenti.

### 2.2.9 Postazioni Audio-Video

Le informazioni relative alle postazioni audio-video sono quelle riportate in Figura 2.22. 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.

4.5 AUDIO/VIDEO				
	QUANTITA'	DIMENSIONI [pollici]	CLASSE ENERGETICA	ORE USO GIORNALIERO
Televisore o monitor 1	1	23" = 58,4 cm	A+	6,0
Televisore o monitor 2	1	26" = 66 cm	A+	6,0
Televisore o monitor 3				
Televisore o monitor 4				

	QUANTITA'	ORE USO GIORNALIERO
Decoder		
Videoregistratore		
Letttore DVD		
Riproduttore audio (radio, stereo p...		
Impianto hi-fi/home theatre		

Uso giornaliero alto

Uso giornaliero medio

Uso giornaliero basso

Altri apparecchi non inclusi nella lista possono essere inseriti in 4.8

Figura 2.22 – Postazioni audio/video.

Sulla base dei questionari raccolti, nelle 751 abitazioni considerate sono presenti 1672 televisori; in media sono presenti 2,2 televisori ad abitazione.

In 731 delle abitazioni considerate (97,3%) è presente almeno un televisore; in 537 abitazioni (71,5%) sono presenti almeno due televisori; in 240 abitazioni (32,0%) sono presenti almeno tre televisori; in 94 abitazioni (12,5%) sono presenti almeno quattro televisori.

Larga parte dei televisori presenti (1438/1672; 86,0%) ha una classe energetica pari alla classe A o migliore (Figura 2.23).

Il numero di ore di uso giornaliero (considerando tutti i televisori presenti) è pari ad 8.

Per quanto riguarda le altre apparecchiature:

- decoder sono presenti in 395 abitazioni (52,6%);
- videoregistratori sono presenti in 39 abitazioni (5,2%);
- lettori dvd sono presenti in 127 abitazioni (16,9%);
- riproduttori audio (radio, stereo piccolo, ecc.) sono presenti in 324 abitazioni (43,1%);
- impianto hi-fi/home theatre sono presenti in 98 abitazioni (13,0%) del totale.

L'utilizzo medio di queste apparecchiature (considerate indistintamente) è pari circa a tre ore e 20 minuti giornalieri.

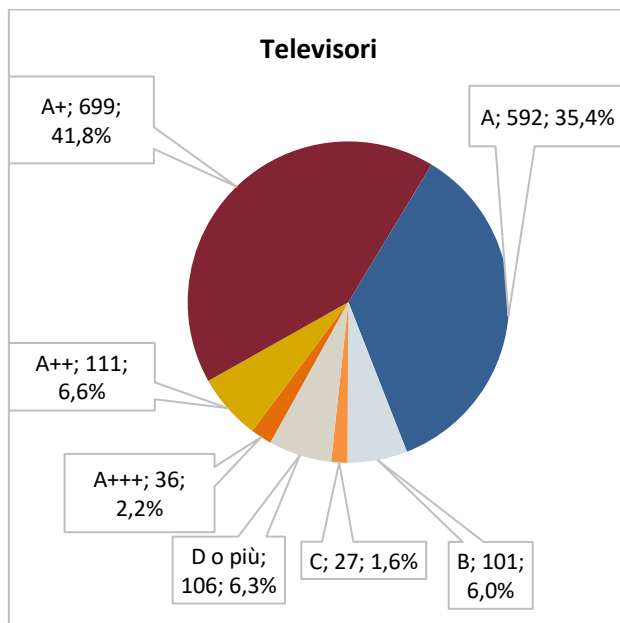


Figura 2.23 – Classe energetica televisori.

### 2.2.10 Computer - Internet

Le informazioni relative alle postazioni PC, al modem per l'accesso ad internet e alle stampanti sono quelle riportate in Figura 2.24. 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.

4.6 COMPUTER/INTERNET		
	QUANTITA'	ORE USO GIORNALIERO
Computer fisso (il monitor va messo tra le TV)		
Computer portatile	4	6,0
Connessione a internet	Flat (sempre connessa)	
	QUANTITA'	STAMPE AL GIORNO
Stampante a getto di inchiostro	1	5,0
Stampante laser		

Altri apparecchi non inclusi nella lista possono essere inseriti in 4.8

Uso giornaliero alto

Uso giornaliero medio

Uso giornaliero basso

Figura 2.24 – Postazioni PC.

Sulla base dei questionari raccolti, sono presenti postazioni PC in 727 delle abitazioni considerate (96,8%), mentre non è presente nessuna apparecchiatura in 24 abitazioni (3,2%).

Mediamente si hanno 0,36 computer fissi ad abitazione e 1,81 computer portatili ad abitazione.

L'utilizzo medio di computer è pari a circa 10 ore giornaliere.

Il 91,1% delle abitazioni è dotata di un modem per la connessione ad Internet (Figura 2.25), con netta prevalenza delle connessioni di tipo flat (sempre connessa) (87,5%).

In 406 abitazioni (54,1%) è presente almeno una stampante. Maggiormente diffuse sono le stampanti inkjet (352 in totale), rispetto alle stampanti laser (82 in totale). L'utilizzo delle stampanti è molto contenuto; nel caso delle stampanti inkjet vengono effettuate mediamente 2,5 stampe al giorno; nel caso delle stampanti laser, il numero sale a 3,7 stampe al giorno.

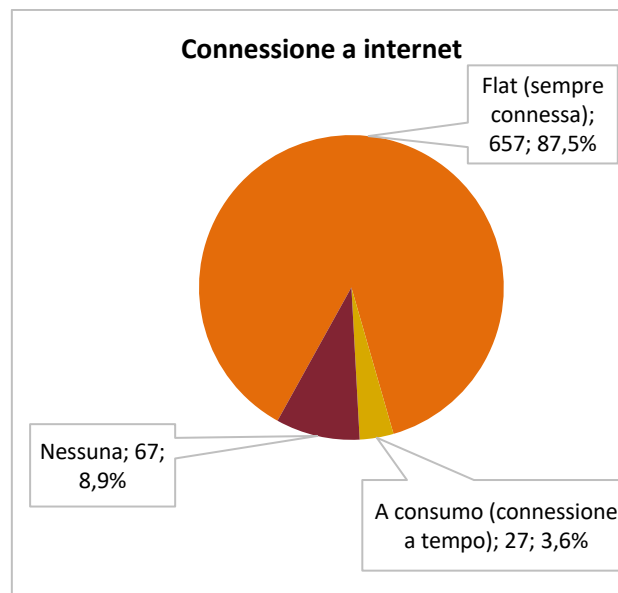


Figura 2.25 – Connessione a internet.

### 2.2.11 Cura della persona

Le informazioni relative alle apparecchiature per la cura della persona sono quelle riportate in Figura 2.26. 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.

#### 4.7 CURA DELLA PERSONA

	MINUTI USO GIORN.
Asciugacapelli	40
Piastra per capelli	

Altri apparecchi non inclusi nella lista possono essere inseriti in 4.8

Figura 2.26 – Apparecchiature per cura della persona.

Sulla base dei questionari raccolti, sono presenti apparecchiature per la cura della persona in 739 delle abitazioni considerate (98,4%), mentre non è presente nessuna apparecchiatura in 12 abitazioni (1,6%). L'asciugacapelli è utilizzato in 738 abitazioni (98,3%); l'utilizzo medi è di 17,5 minuti al giorno. La piastra per capelli è utilizzata in 375 abitazioni (49,9%); l'utilizzo medio è pari a 9 minuti al giorno.

### 2.2.12 Altri apparecchi

L'ultima parte del questionario di raccolta dati presenta una sezione ad input libero, per inserire altri apparecchi non menzionati altrove (Figura 2.27); anche in questo caso la caratterizzazione energetica viene effettuata con riferimento a valori medi di potenza elettrica e in base all'uso effettuato.

#### 4.8 ALTRI APPARECCHI

	QUANTITA'	POTENZA MEDIA [W]	MINUTI USO GIORN.
Apparecchio 1			
Apparecchio 2			
Apparecchio 3			
Apparecchio 4			

Nessun apparecchio

Figura 2.27 – Altri apparecchi.

Sulla base dei questionari raccolti, questa sezione del questionario è stata compilata solo per 96 abitazioni (12,8%); per 28 abitazioni (3,7%) sono stati inseriti due apparecchi; per 9 abitazioni (1,2%) sono stati inseriti tre apparecchi; per 4 abitazioni (0,5%) sono stati inseriti 4 apparecchi.

### 2.3 Valutazione dell'incidenza dei singoli servizi sui consumi complessivi

E' stata effettuata 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).

Il grafico di Figura 2.28 riporta la ripartizione facendo riferimento al valore medio; la maggior parte dei consumi energetici delle abitazioni è connessa al riscaldamento (45,3%); seguono in termini di importanza la preparazione di acqua calda sanitaria (14,7%) e la cucina (13,4%). Tutti gli altri usi energetici hanno un'incidenza inferiore al 7%.

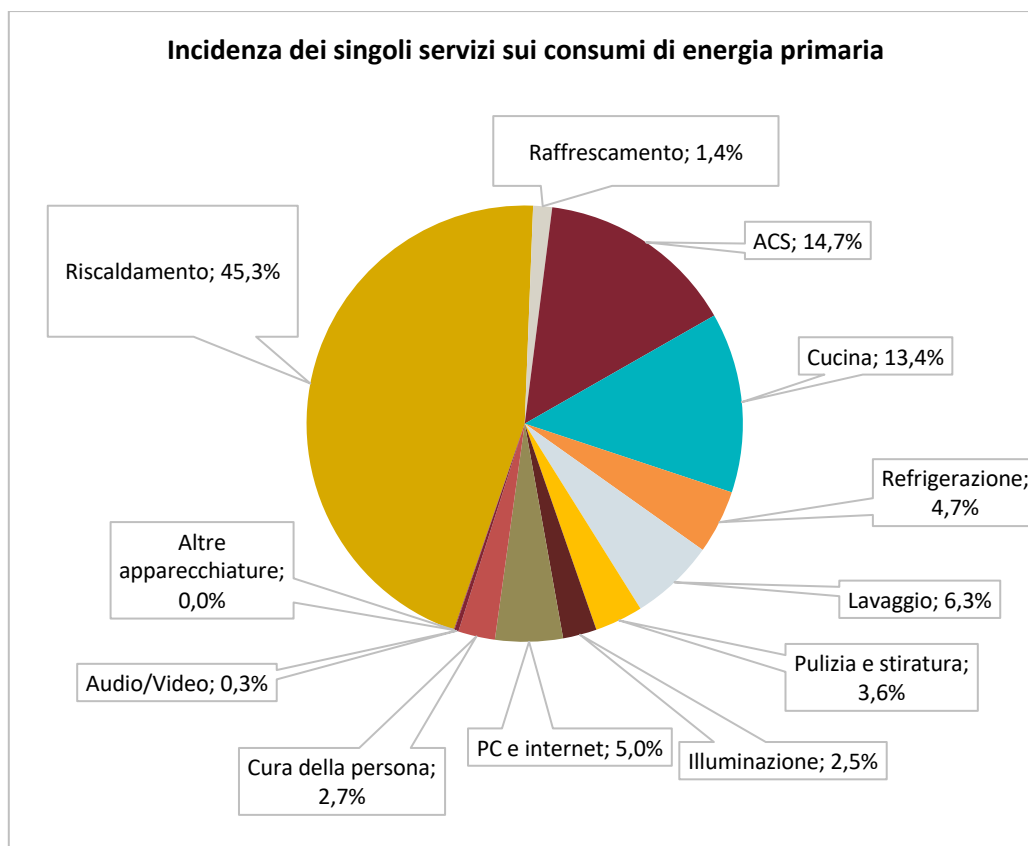


Figura 2.28 – Incidenza dei singoli servizi sui consumi di energia primaria.

Nella Figura 2.29 e nella Tabella 2.3 seguenti sono riportate le analisi statistiche sui consumi energetici del campione di abitazioni esaminate.

**Figura 2.29 – Incidenza dei singoli servizi sui consumi di energia primaria.**

In particolare, nella tabella seguente sono riportati per ciascun servizio l'incidenza minima, media e massima, nonché la suddivisione per quartili, utile a caratterizzare il campione dal punto di vista statistico.

**Tabella 2.3 – Incidenza dei servizi sui consumi di energia primaria.**

Servizio	min	media	max	primo quartile	mediana	terzo quartile
Riscaldamento	0,3%	45,3%	84,9%	33,2%	45,9%	58,4%
Raffrescamento	0,0%	1,4%	12,7%	0,0%	0,9%	2,2%
ACS	0,0%	14,7%	50,2%	9,7%	13,1%	17,7%
Cucina	2,0%	13,4%	54,0%	8,7%	12,0%	16,6%
Refrigerazione	0,8%	4,7%	21,2%	2,9%	4,1%	5,7%
Lavaggio	0,0%	6,3%	25,7%	3,3%	5,5%	8,4%
Pulizia e stiratura	0,0%	3,6%	27,8%	1,6%	2,9%	4,6%
Illuminazione	0,0%	2,5%	22,8%	1,2%	1,9%	3,2%
PC e internet	0,0%	5,0%	31,7%	2,4%	3,9%	6,5%
Cura della persona	0,0%	2,7%	14,3%	1,4%	2,4%	3,6%
Audio/Video	0,0%	0,3%	1,6%	0,2%	0,3%	0,4%
Altre apparecchiature	0,0%	0,4%	3,8%	0,2%	0,3%	0,4%
Cucina (apparecchiature marginali)	0,0%	1,0%	9,1%	0,2%	0,6%	1,4%
PC e internet (connessione e stampanti)	0,0%	1,4%	5,1%	1,0%	1,4%	1,8%

Vista la varietà del campione, si hanno casi in cui per molti dei servizi analizzati l'incidenza complessiva sui consumi di energia primaria può superare il 10%. Solo per le postazioni audio-video l'incidenza sui consumi energetici rimane sempre molto bassa.

Utilizzando l'analisi statistica effettuata, si è ritenuto di poter considerare marginali quei servizi per i quali l'incidenza riferita al terzo quartile non supera il valore soglia del 2%.

La lettura della tabella consente di affermare che l'incidenza delle postazioni audio/video considerate complessivamente sui consumi di energia primaria rimane sotto il valore di soglia, così come l'incidenza della sezione libera "Altre apparecchiature".

Ulteriori analisi di dettaglio sono state sviluppate con riferimento ad altre apparecchiature ritenute ad uso marginale o standardizzato:

- apparecchiature marginali di cucina (griglia; bistecchiera/piastra elettrica; tostapane; macchina caffè espresso elettrica; macchina moka elettrica; frullatore; robot cucina);
- apparecchiature marginali sezione PC e internet (stampanti);
- apparecchiature ad uso standardizzato sezione PC e internet (connessione).

Anche per questi sottoinsiemi dei servizi considerati l'incidenza complessiva sui consumi di energia primaria rimane sotto al valore soglia del 2% (riferita al terzo quartile).

## 2.4 Definizione di benchmark «interni» da affiancare a quelli di letteratura

Con l'intenzione di arrivare alla definizione di benchmark di consumo per le residenze italiane sono state eseguite delle analisi sul database volte a valutare eventuali correlazioni tra i dati di output della simulazione (consumi di gas, consumi di energia elettrica, elettrificazione dei consumi, carichi accumulabili, carichi differibili) e variabili di input significative (superficie dell'abitazione, numero di occupanti, gradi giorno).

Le suddette analisi statistiche sono state effettuate utilizzando lo strumento di analisi dei dati di Excel.

Le analisi sono state condotte raggruppando le abitazioni in funzione del numero di occupanti e per classi dimensionali, avendo individuato 5 classi dimensionali (abitazione piccola <50 m<sup>2</sup>; abitazione medio-piccola 50-85 m<sup>2</sup>; abitazione media 85-115 m<sup>2</sup>; abitazione medio-grande 115-145 m<sup>2</sup>; abitazione grande >145 m<sup>2</sup>).

I risultati delle correlazioni individuate saranno mostrati di volta in volta utilizzando la seguente nomenclatura:

- CG sono i consumi di gas espressi in Sm<sup>3</sup>/anno;
- CE sono i consumi di energia elettrica espressi in kWh/anno;
- Ef indica l'elettrificazione dei consumi in percentuale, come rapporto in termini di energia primaria tra i consumi elettrici e i consumi totali dell'abitazione;
- ACC sono i carichi elettrici accumulabili, espressi in kWh/anno;
- DIFF sono i carichi elettrici differibili, espressi in kWh/anno;
- S è la superficie utile dell'abitazione espressa in m<sup>2</sup>;
- N è il numero massimo di occupanti dell'abitazione;
- GG sono i gradi giorno della località.

A tal proposito conviene ricordare la classificazione effettuata degli usi energetici per il settore residenziale, in funzione della natura del generico carico (Figura 2.30):

- carico accumulabile; il consumo di energia può essere disaccoppiato dal servizio reso in virtù di un accumulo che può essere di tipo diverso (accumulo elettrochimico, inerzia termica, ecc.);
- carico differibile; il consumo di energia può essere spostato nel tempo senza influire sul servizio reso; un carico spostabile può comportare anche un processo non interrompibile (come un ciclo di lavanderia) e richiedere quindi una pianificazione;

- carico interrompibile; il consumo di energia non può essere spostato senza influire sul servizio reso, ma il servizio può essere interrotto anche immediatamente;
- carico di base (non interrompibile); quando l'utenza ha bisogno di potenza istantanea e non può essere interrotta o spostata nel tempo;
- autogenerazione; la produzione di energia elettrica effettuata da parte del consumatore, che, in certi casi può essere utilizzata come alimentazione di back-up.

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 2.30 – Mix di carico generico.

#### 2.4.1 Consumi di gas

E' stata effettuata una valutazione parametrica dei consumi di gas, considerando il consumo pro-capite in funzione del numero di occupanti dell'abitazione e il consumo per unità di superficie in funzione delle classi dimensionali individuate.

I consumi di gas pro-capite sono mediamente pari a 352,6 Sm<sup>3</sup>/persona; il primo quartile ha consumi di gas pro-capite inferiori a 203,5 Sm<sup>3</sup>/persona; il secondo quartile inferiori a 306,1 Sm<sup>3</sup>/persona; il terzo quartile inferiori a 432,7 Sm<sup>3</sup>/persona.

Al crescere del numero di occupanti dell'abitazione (Figura 2.31), i consumi pro-capite di gas diminuiscono, passando da 625,3 Sm<sup>3</sup>/persona (1 occupante) a 267,9 Sm<sup>3</sup>/persona (5 o più occupanti).

Figura 2.31 – Consumi di gas pro-capite.

I consumi di gas per unità di superficie sono mediamente pari a  $10,0 \text{ Sm}^3/\text{m}^2$ ; il primo quartile ha consumi di gas per unità di superficie inferiori a  $6,8 \text{ Sm}^3/\text{m}^2$ ; il secondo quartile inferiori a  $9,3 \text{ Sm}^3/\text{m}^2$ ; il terzo quartile inferiori a  $12,9 \text{ Sm}^3/\text{m}^2$ .

I consumi di gas per unità di superficie diminuiscono al crescere della dimensione dell'abitazione (Figura 2.32); in particolare, per piccole abitazioni i consumi specifici sono pari mediamente a  $14,5 \text{ Sm}^3/\text{m}^2$ , mentre per le grandi abitazioni i consumi specifici sono pari mediamente a  $8,3 \text{ Sm}^3/\text{m}^2$ .

**Figura 2.32 – Consumi di gas per unità di superficie.**

Utilizzando lo strumento di analisi dati di Excel sono state individuate le seguenti funzioni di regressione per i consumi di gas dell'abitazione, con il significato dei simboli sopra definito.

$$CG = -488,19 + 5.3151 \cdot S + 46,839 \cdot N + 0,52148 \cdot GG \quad (1)$$

$$CG = 303,31 + 5.5769 \cdot S + 41,840 \cdot N \quad (2)$$

Nella (1) i consumi di gas sono espressi in funzione di tre variabili (superficie, numero di occupanti e gradi giorno) e la funzione di regressione presenta una buona correlazione ( $R \text{ multiplo} = 0,66$ ); nella (2) i consumi di gas sono espressi in funzione di due sole variabili (superficie utile e numero di occupanti) e la funzione di regressione presenta ancora una buona correlazione ( $R \text{ multiplo} = 0,61$ ) sebbene minore della precedente.

#### 2.4.2 Consumi di energia elettrica

E' stata effettuata una valutazione parametrica dei consumi di energia elettrica, considerando il consumo pro-capite in funzione del numero di occupanti dell'abitazione e il consumo per unità di superficie in funzione delle classi dimensionali individuate.

I consumi di energia elettrica pro-capite sono mediamente pari a  $731,7 \text{ kWh/persona}$ ; il primo quartile ha consumi di energia elettrica pro-capite inferiori a  $501,2 \text{ kWh/persona}$ ; il secondo quartile inferiori a  $642,9 \text{ kWh/persona}$ ; il terzo quartile inferiori a  $892,1 \text{ kWh/persona}$ .

Al crescere del numero di occupanti dell'abitazione (Figura 2.33), i consumi pro-capite di energia elettrica diminuiscono, passando da  $1229,0 \text{ kWh/persona}$  (1 occupante) a  $603,7 \text{ kWh/persona}$  (5 o più occupanti).



### Figura 2.33 – Consumi di energia elettrica pro-capite.

I consumi di energia elettrica per unità di superficie sono mediamente pari a 22,7 kWh/m<sup>2</sup>; il primo quartile ha consumi di energia elettrica per unità di superficie inferiori a 14,4 kWh/m<sup>2</sup>; il secondo quartile inferiori a 20,0 kWh/m<sup>2</sup>; il terzo quartile inferiori a 28,2 kWh/m<sup>2</sup>.

I consumi di energia elettrica per unità di superficie diminuiscono al crescere della dimensione dell'abitazione (Figura 2.34); in particolare, per piccole abitazioni i consumi specifici sono pari mediamente a 34,4 kWh/m<sup>2</sup>, mentre per le grandi abitazioni i consumi specifici sono pari mediamente a 14,1 kWh/m<sup>2</sup>.

### Figura 2.34 – Consumi di energia elettrica per unità di superficie.

Utilizzando lo strumento di analisi dati di Excel sono state individuate le seguenti funzioni di regressione per l'elettificazione delle abitazioni, con il significato dei simboli sopra definito.

$$CE = 892,54 + 3,3531 \cdot S + 350,81 \cdot N - 0,094782 \cdot GG \quad (3)$$

$$CE = 748,68 + 3,3055 \cdot S + 351,72 \cdot N \quad (4)$$

Nella (3) i consumi di energia elettrica sono espressi in funzione di tre variabili (superficie, numero di occupanti e gradi giorno) e la funzione di regressione presenta una discreta correlazione (R multiplo= 0,51); nella (4) i consumi di gas sono espressi in funzione di due sole variabili (superficie utile e numero di occupanti) e la funzione di regressione presenta ancora una discreta correlazione (R multiplo= 0,51) in linea con la precedente.

### 2.4.3 Elettrificazione delle abitazioni

E' stata effettuata una valutazione parametrica relativamente alla elettrificazione delle abitazioni, definita come rapporto in termini di energia primaria tra i consumi elettrici e i consumi totali dell'abitazione, considerando tale rapporto in funzione del numero di occupanti dell'abitazione e in funzione delle classi dimensionali individuate.

L'elettrificazione delle abitazioni è mediamente pari al 35,8%; il primo quartile ha un'elettrificazione inferiore al 25,3%; il secondo quartile inferiore al 33,5%; il terzo quartile inferiore al 43,8%.

Al variare del numero di occupanti dell'abitazione (Figura 2.35) non si osservano significative differenze in termini di elettrificazione delle abitazioni; per abitazioni con un occupante l'elettrificazione è pari al 35,3%; per abitazioni con due occupanti l'elettrificazione pari al 34,1%; per abitazioni con tre occupanti l'elettrificazione mediamente pari a 37%; per abitazioni con quattro occupanti l'elettrificazione pari al 35,7%; per abitazioni con 5 o più occupanti l'elettrificazione è pari al 36,7%.

### Figura 2.35 – Elettrificazione delle abitazioni Vs occupanti.

Al variare della dimensione dell'abitazione si osserva una lieve diminuzione dell'elettrificazioni per le abitazioni più grandi (Figura 2.36); in particolare, per piccole abitazioni l'elettrificazione è mediamente pari al 36,7%; per abitazioni medio-piccole, l'elettrificazione è mediamente pari al 40,3%; per abitazioni medie, l'elettrificazione è del 36,7%; per abitazioni medio-grandi è del 34,2%; per abitazioni grandi è del 31,0%.

**Figura 2.36 – Elettrificazione delle abitazioni Vs classi di superficie.**

Utilizzando lo strumento di analisi dati di Excel sono state individuate le seguenti funzioni di regressione per i consumi di energia elettrica dell'abitazione, con il significato dei simboli sopra definito.

$$Ef = 0,48949 - 0,00054739 \cdot S + 0,019635 \cdot N - -0,000085310 \cdot GG \quad (5)$$

$$Ef = 0,36000 - 0,00059020 \cdot S + 0,02045 \cdot N \quad (6)$$

Nella (5) i consumi di energia elettrica sono espressi in funzione di tre variabili (superficie, numero di occupanti e gradi giorno) e la funzione di regressione presenta una debole correlazione (R multiplo= 0,31); nella (6) i consumi di gas sono espressi in funzione di due sole variabili (superficie utile e numero di occupanti) e la funzione di regressione presenta ancora una debole correlazione (R multiplo= 0,25) in linea con la precedente.

#### 2.4.4 Carichi elettrici accumulabili

E' stata effettuata una valutazione parametrica dei carichi elettrici accumulabili, considerando i carichi accumulabili pro-capite in funzione del numero di occupanti dell'abitazione e i carichi accumulabili per unità di superficie in funzione delle classi dimensionali individuate.

I carichi accumulabili pro-capite sono mediamente pari a 127,8 kWh/persona; il primo quartile ha carichi accumulabili pro-capite inferiori a 26,0 kWh/persona; il secondo quartile inferiori a 46,1 kWh/persona; il terzo quartile inferiori a 81,1 kWh/persona.

Al crescere del numero di occupanti dell'abitazione (Figura 2.37), i carichi elettrici accumulabili pro-capite diminuiscono, passando da 104,0 kWh/persona (1 occupante) a 40,9 kWh/persona (5 o più occupanti).

**Figura 2.37 – Carichi accumulabili pro-capite.**

I carichi elettrici accumulabili per unità di superficie sono mediamente pari a 4,1 kWh/m<sup>2</sup>; il primo quartile ha carichi accumulabili elettrica per unità di superficie inferiori a 0,8 kWh/m<sup>2</sup>; il secondo quartile inferiori a 1,3 kWh/m<sup>2</sup>; il terzo quartile inferiori a 2,4 kWh/m<sup>2</sup>.

I carichi elettrici accumulabili per unità di superficie diminuiscono al crescere della dimensione dell'abitazione (Figura 2.38); in particolare, per piccole abitazioni i carichi accumulabili specifici sono pari mediamente a 5,8 kWh/m<sup>2</sup>, mentre per le grandi abitazioni i carichi accumulabili specifici sono pari mediamente a 2,1 kWh/m<sup>2</sup>.

**Figura 2.38 – Carichi accumulabili per unità di superficie.**

Utilizzando lo strumento di analisi dati di Excel sono state individuate le seguenti funzioni di regressione per i carichi elettrici accumulabili delle abitazioni, con il significato dei simboli sopra definito.

$$ACC = 546,01 + 0,11343 \cdot S + 52,416 \cdot N - 0,21859 \cdot GG \quad (7)$$

$$ACC = 214,24 + 0,0037350 \cdot S + 54,512 \cdot N \quad (8)$$

Nella (7) i consumi di energia elettrica sono espressi in funzione di tre variabili (superficie, numero di occupanti e gradi giorno) e la funzione di regressione presenta una correlazione molto bassa ( $R$  multiplo= 0,14); nella (8) i consumi di gas sono espressi in funzione di due sole variabili (superficie utile e numero di occupanti) e la funzione di regressione presenta ancora una correlazione molto bassa ( $R$  multiplo= 0,10) in linea con la precedente.

#### 2.4.5 Carichi elettrici differibili

E' stata effettuata una valutazione parametrica dei carichi elettrici differibili, considerando i carichi differibili pro-capite in funzione del numero di occupanti dell'abitazione e i carichi differibili per unità di superficie in funzione delle classi dimensionali individuate.

I carichi differibili pro-capite sono mediamente pari a 199,9 kWh/persona; il primo quartile ha carichi differibili pro-capite inferiori a 115,8 kWh/persona; il secondo quartile inferiori a 184,2 kWh/persona; il terzo quartile inferiori a 250,7 kWh/persona.

Al crescere del numero di occupanti dell'abitazione (Figura 2.37), i carichi elettrici differibili pro-capite diminuiscono, passando da 258,6 kWh/persona (1 occupante) a 180,3 kWh/persona (5 o più occupanti).

#### Figura 2.39 – Carichi differibili pro-capite.

I carichi elettrici differibili per unità di superficie sono mediamente pari a 6,1 kWh/m<sup>2</sup>; il primo quartile ha carichi differibili elettrica per unità di superficie inferiori a 3,4 kWh/m<sup>2</sup> il secondo quartile inferiori a 5,4 kWh/m<sup>2</sup>; il terzo quartile inferiori a 7,9 kWh/m<sup>2</sup>.

I carichi elettrici differibili per unità di superficie diminuiscono al crescere della dimensione dell'abitazione (Figura 2.38); in particolare, per piccole abitazioni i carichi differibili specifici solo pari mediamente a 7,1 kWh/m<sup>2</sup>, mentre per le grandi abitazioni i carichi differibili specifici sono pari mediamente a 4,4 kWh/m<sup>2</sup>.

**Figura 2.40 – Carichi differibili per unità di superficie.**

Utilizzando lo strumento di analisi dati di Excel sono state individuate le seguenti funzioni di regressione per i carichi elettrici differibili delle abitazioni, con il significato dei simboli sopra definito.

$$DIFF = -204,10 + 1,09052 \cdot S + 139,10 \cdot N + 0,17118 \cdot GG \quad (9)$$

$$DIFF = 55,711 + 1,1764 \cdot S + 137,46 \cdot N \quad (10)$$

Nella (9) i consumi di energia elettrica sono espressi in funzione di tre variabili (superficie, numero di occupanti e gradi giorno) e la funzione di regressione presenta una discreta correlazione (R multiplo= 0,50); nella (10) i consumi di gas sono espressi in funzione di due sole variabili (superficie utile e numero di occupanti) e la funzione di regressione presenta ancora una discreta correlazione (R multiplo= 0,49) in linea con la precedente.

### 3 Analisi di scenari evolutivi per le abitazioni

Il foglio di calcolo è stato concepito per valutare il potenziale di aggregabilità di una generica utenza residenziale, caratterizzandola attraverso un approccio rapido, che coinvolga inizialmente solo l'utente in assenza di una figura tecnica esperta della materia.

Tuttavia, può anche essere impiegato per simulare scenari evolutivi che potrebbero verificarsi per l'abitazione.

Nel corso di questa annualità di ricerca è stato utilizzato per simulare gli effetti di:

- piccoli interventi di risparmio energetico;
- interventi riqualificazione energetica dell'abitazione;
- l'introduzione di un sistema di automazione;
- condizioni climatiche differenti da quelle attuali, quale conseguenza dei cambiamenti climatici in corso.

I risultati delle simulazioni condotte sono riportati nei paragrafi seguenti.

I risultati di questa fase dell'attività di ricerca sono stati anche oggetto di 4 pubblicazioni [4][5][6][7] sulla rivista Energies.

#### 3.1 Piccoli interventi di manutenzione ordinaria

Al fine di verificare la stabilità nel tempo del potenziale di flessibilità delle utenze residenziali sono stati simulati degli scenari evolutivi della situazione attuale, derivanti da piccoli interventi di manutenzione ordinaria dell'abitazione. Tali interventi, considerati singolarmente, prevedono piccoli investimenti (inferiori a 2.000 Euro) e possono essere motivati o dal normale avvicendamento di apparecchiature a fine vita utile o dalla volontà di una piccola riqualificazione energetica.

Di seguito sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate; il risparmio è stato valutato in di energia primaria, mentre il potenziale di flessibilità in energia elettrica.

Nel leggere i risultati riferiti al potenziale di flessibilità delle abitazioni si tenga presente che il valore medio dei carichi flessibili, rilevato da indagini nelle precedenti annualità di ricerca, è pari a 1042 kWh/anno.

In Tabella 3.1 sono riportati gli interventi presi in considerazione. In tutti i casi è stata simulata la sostituzione dell'apparecchiature esistente con un'apparecchiatura di caratteristiche dimensionali identiche ma migliore dal punto di vista energetico.

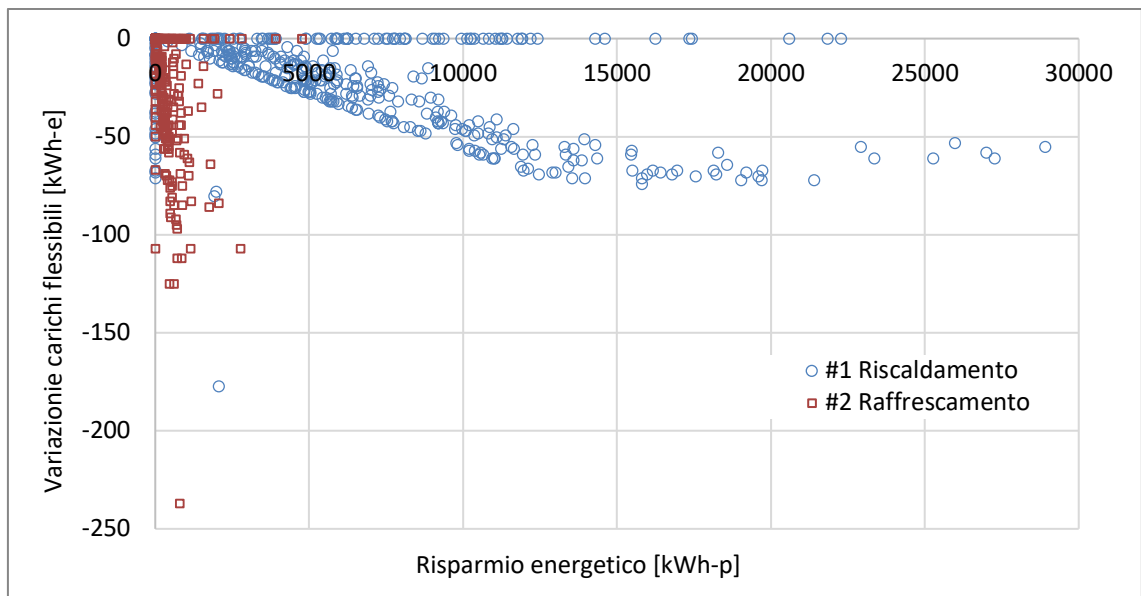
Dal momento che le simulazioni sono state effettuate nel corso dell'annualità di ricerca, si riferiscono ad una parte del database attuale e precisamente alle prime 412 abitazioni disponibili.

**Tabella 3.1 – Scenari evolutivi considerati.**

#	Servizio	Situazione esistente	Scenario evolutivo
#1	Riscaldamento	Caldaia tradizionale	Caldaia a gas naturale a condensazione
		Caldaia a condensazione	Caldaia a gas naturale a condensazione
		Pompa di calore	Pompa di calore – Classe A+++
#2	Raffrescamento	Condizionatore elettrico	Condizionatore elettrico – Classe A+++
#3	Preparazione ACS	Caldaia istantanea	Caldaia a condensazione istantanea
		Caldaia con accumulo	Caldaia a condensazione con accumulo
		Scaldabagno a resistenza	Scaldabagno a pompa di calore
		Scaldabagno a pompa di calore	Scaldabagno a pompa di calore
#4	Lavaggio	Lavatrice	Lavatrice - Stesse dimensioni – Classe A+++
#5		Asciugatrice	Asciugatrice - Stesse dimensioni – Classe A+++
#6		Lavastoviglie	lavastoviglie - Stesse dimensioni – Classe A+++
#7	Refrigerazione	Refrigeratore esistente	Refrigeratore - Stesse dimensioni – Classe A+++
#8	Illuminazione	Lampade esistenti	Lampade a LED

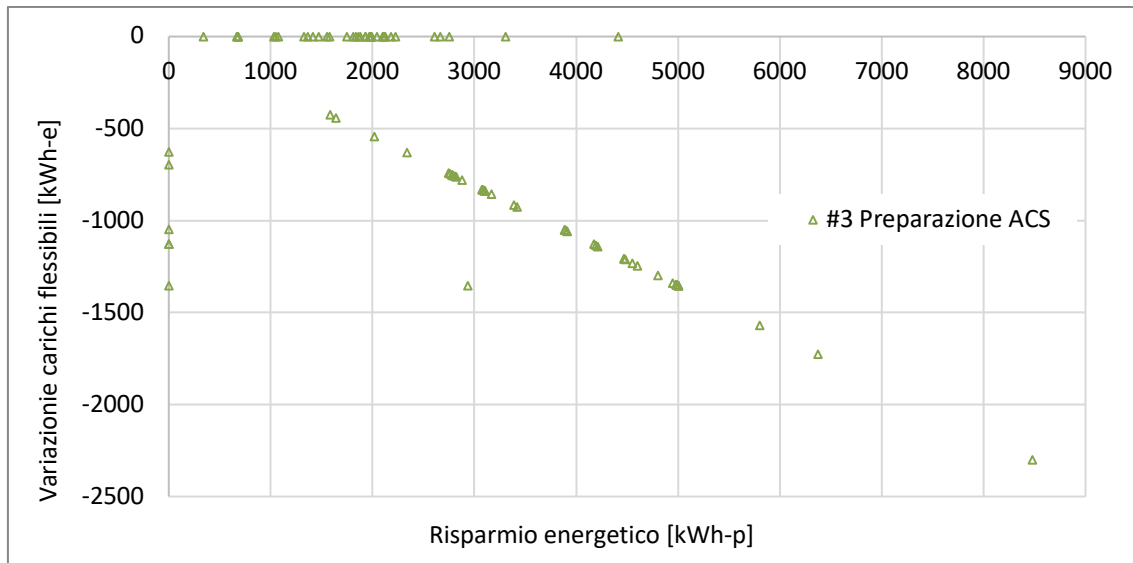
Nelle figure seguenti ( Figura 3.1, Figura 3.2, Figura 3.3, Figura 3.4) sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate; il risparmio è stato valutato in termini di energia primaria, mentre il potenziale di flessibilità in termini di energia elettrica. I grafici riportano i risultati separatamente (per chiarezza di lettura) e con una suddivisione che ricalca la suddivisione dei carichi effettuata in precedenza (carichi accumulabili: riscaldamento, raffrescamento, preparazione ACS; carichi differibili: lavaggio; carichi non differibili: refrigerazione e illuminazione).

In tutti i casi si osserva un risparmio energetico e una riduzione del potenziale di flessibilità; infatti, il risultato degli interventi considerati è una diminuzione dei consumi del servizio di volta in volta considerato ed una variazione dei consumi dei servizi di riscaldamento e di raffrescamento conseguenti alla diminuzione degli apporti interni.

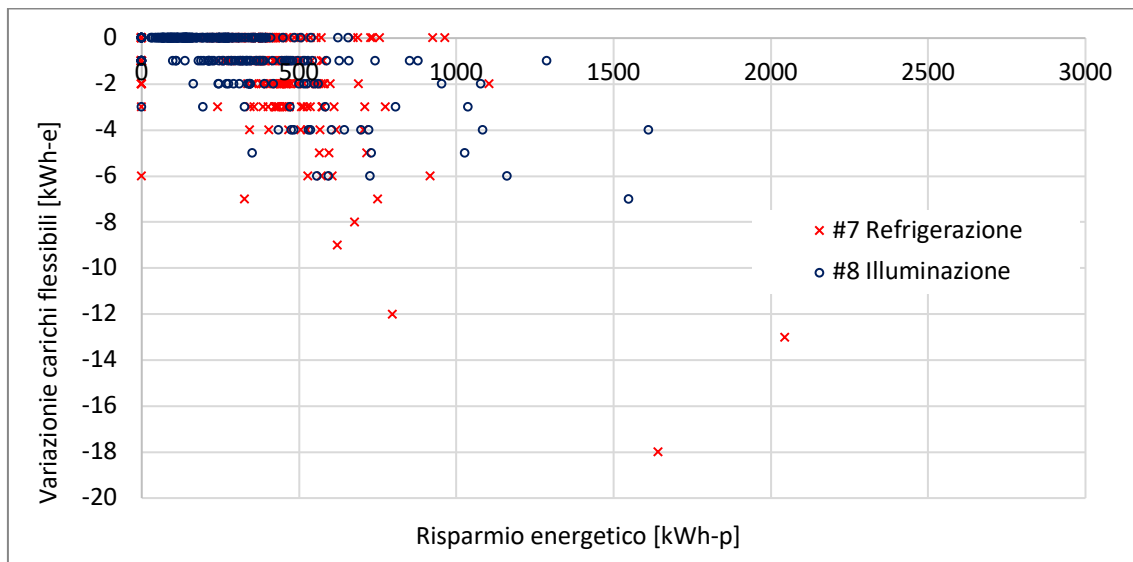


**Figura 3.1 – Riscaldamento e raffrescamento.**

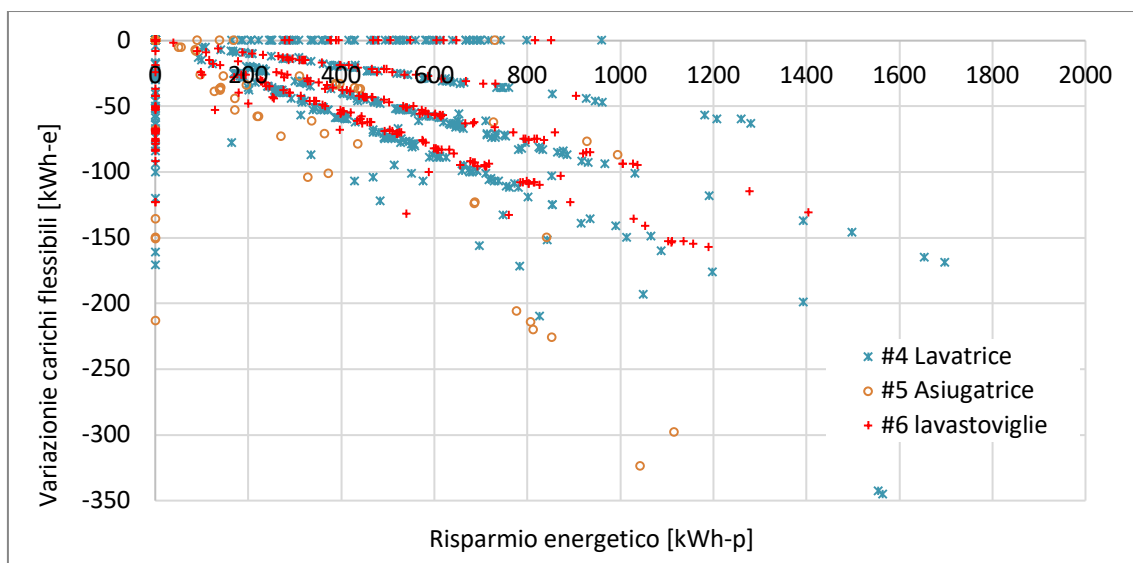




**Figura 3.2 – Preparazione acqua calda sanitaria.**



**Figura 3.3 – Refrigerazione, illuminazione ambienti.**



**Figura 3.4 – Lavaggio (lavatrici, asciugatrici, lavastoviglie).**

In Tabella 3.2, per ciascuno degli interventi considerati, sono riportati i valori medi del risparmio energetico e della variazione del potenziale di flessibilità. Le maggiori variazioni del potenziale di flessibilità si hanno per il servizio di preparazione ACS (-130 kWh/y), in conseguenza della sostituzione di scaldabagni a resistenza con scaldabagni a pompa di calore e per il servizio di lavaggio (-96 kWh/y), in conseguenza della sostituzione di lavatrici, asciugatrici e lavastoviglie.

**Tabella 3.2 – Risparmio energetico e variazione del potenziale di flessibilità. Valori medi.**

	Servizio	Risparmio energetico [kWh-p]	Variazione del potenziale di flessibilità [kWh-e]
#1	Riscaldamento	6979	-28
#2	Raffrescamento	325	-19
#3	Preparazione ACS	1927	-130
#4	Lavatrice	456	-50
#5	Asciugatrice	60	-14
#6	Lavastoviglie	262	-32
#7	Refrigerazione	417	-1
#8	Illuminazione	302	0

Complessivamente, considerando sommabili le riduzioni del potenziale di flessibilità evidenziate, la riduzione del potenziale di flessibilità può arrivare a 273 kWh/anno.

A partire dal valore attuale di 1042 kWh/anno, il potenziale di flessibilità medio può quindi scendere fino a 769 kWh/anno.

### 3.2 Interventi di riqualificazione energetica dell'abitazione

Al fine di verificare la stabilità nel tempo del potenziale di flessibilità delle utenze residenziali sono stati simulati degli scenari evolutivi della situazione attuale, derivanti da una riqualificazione energetica dell'abitazione. Tali interventi, consistono nella riqualificazione energetica dell'involucro edilizio e nella sostituzione dei sistemi impiantistici di riscaldamento, raffrescamento e preparazione ACS.

Nei paragrafi seguenti sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate, considerando prima gli interventi sull'involucro edilizio, poi gli interventi sui sistemi impiantistici e infine combinando gli interventi; il risparmio è stato valutato in di energia primaria, mentre il potenziale di flessibilità in energia elettrica.

Nel leggere i risultati riferiti al potenziale di flessibilità delle abitazioni si tenga presente che il valore medio dei carichi flessibili, rilevato da precedenti indagini, è pari a 1042 kWh/anno.

Dal momento che le simulazioni sono state effettuate nel corso dell'annualità di ricerca, si riferiscono ad una parte del database attuale e precisamente alle prime 419 abitazioni disponibili.

#### 3.2.1 Riqualificazione dell'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.

A partire dalla situazione esistente, sono stati simulati cinque scenari alternativi di riqualificazione energetica dell'involucro edilizio, consistenti nell'isolamento delle pareti opache verticali, dei pavimenti, dei soffitti e nella sostituzione degli infissi; tali interventi sono stati considerati prima singolarmente e poi tutti insieme (Tabella 3.3). In tutti i casi si è ipotizzato che, a seguito dell'intervento, i valori della trasmittanza dell'elemento edilizio riqualificato fossero pari al valore previsto per l'accesso alle detrazioni fiscali.

**Tabella 3.3 – Interventi di riqualificazione involucro edilizio.**

#	Elemento edilizio	Intervento di riqualificazione ipotizzato
#1	Pareti verticali	Isolamento fino ai valori di trasmittanza previsti per l'accesso alle detrazioni fiscali
#2	Solai di copertura	
#3	Pavimento inferiore	
#4	Infissi	
#5	Riqualificazione complessiva involucro	#1 + #2 + #3 + #4

In tutti i casi a seguito della riqualificazione energetica si ha una riduzione dei consumi di riscaldamento e raffrescamento; l'entità della riduzione è correlata alla rilevanza dell'elemento riqualificato sui consumi energetici dell'abitazione di volta in volta considerata, funzione di particolari (del singolo caso) variabili geometriche e fisico-tecniche.

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 come previsto dallo scenario migliorativo; in particolare:

- relativamente all'intervento di isolamento delle pareti opache verticali, il campione è composto da 403 abitazioni (96,2% del totale);
- relativamente all'intervento di isolamento del soffitto di copertura, il campione è composto da 174 abitazioni (41,5% del totale);
- relativamente all'intervento di isolamento del pavimento, il campione è composto da 134 abitazioni (34,1% del totale);
- relativamente all'intervento di sostituzione degli infissi, il campione è composto da 391 abitazioni (93,3% del totale);
- relativamente all'intervento di riqualificazione di tutto l'involucro edilizio, il campione è composto da 418 abitazioni (99,8 del totale).

In Figura 3.5 sono riportati, in termini percentuali rispetto alla situazione esistente, i risparmi di energia primaria. Valutando gli interventi singoli, i maggiori risparmi di energia primaria si osservano per gli interventi di isolamento delle pareti opache verticali (media pari al 16,3%), mentre i minori risparmi si osservano per gli infissi (6,8%), anche in considerazione del fatto che molti infissi sono stati sostituiti, anche recentemente; l'intervento di isolamento di soffitti e pavimenti consente mediamente risparmi del 14,0% e del 8,5%; l'intervento di isolamento complessivo dell'involucro edilizio può portare un risparmio di energia primaria mediamente pari al 30,8%.

**Figura 3.5 – Risparmio energetico a seguito di interventi sull'involucro edilizio.**

In Figura 3.6 sono riportati, in termini percentuali rispetto alla situazione esistente, le variazioni osservate relativamente all'entità dei carichi flessibili. Gli interventi di isolamento ipotizzati comportano una riduzione dei consumi di riscaldamento e di raffrescamento (accumulabili). Le piccole variazioni che si osservano in Figura 3.6 sono connesse alla riduzione dei consumi elettrici degli ausiliari dell'impianto di riscaldamento (pompe di circolazione, ventilatori) e alla riduzione dei consumi di raffrescamento, nelle abitazioni ove presenti. Considerando l'intervento di isolamento complessivo, la riduzione dei carichi flessibili è inferiore al 5%.

**Figura 3.6 – Variazione del potenziale di flessibilità a seguito di interventi sull'invulcro edilizio.**

### 3.2.2 Riqualificazione dei sistemi impiantistici di riscaldamento, raffrescamento e preparazione ACS

Una riqualificazione energetica degli impianti tecnologici produce effetti positivi sulla prestazione energetica dell'abitazione, portando ad un incremento dei rendimenti medi stagionali degli impianti. A partire dalla situazione esistente, sono stati simulati cinque scenari alternativi di efficientamento degli impianti di riscaldamento, di preparazione dell'acqua calda sanitaria e di raffrescamento (Tabella 3.4); tre scenari (#6, #8, #10) prevedono la sostituzione delle apparecchiature esistenti verso apparecchiature più efficienti; due scenari (#7, #9) prevedono l'introduzione di pompe di calore per il riscaldamento e per la preparazione di acqua calda sanitaria, con elettrificazione di queste utenze nel caso in cui fossero a gas.

Per chiarezza di lettura, si è preferito valutare gli interventi separatamente, sebbene in molte delle abitazioni considerate l'impianto di riscaldamento e di preparazione dell'acqua calda sanitaria abbiano il medesimo generatore di calore.

**Tabella 3.4 – Interventi di riqualificazione degli impianti tecnologici.**

#	Impianto	Impianto esistente	Intervento di riqualificazione ipotizzato
#6	Riscaldamento	Caldaia tradizionale	- Installazione di caldaia a condensazione - Installazione di dispositivi di regolazione della temperatura per singolo ambiente
		Pompa di calore	- Installazione di pompa di calore classe A+++ - Installazione di dispositivi di regolazione della temperatura per singolo ambiente
#7	Riscaldamento - PdC	Caldaia tradizionale / Pompa di calore	- Installazione di pompa di calore classe A+++ - Installazione di dispositivi di regolazione della temperatura per singolo ambiente
#8	Preparazione ACS	Caldaia tradizionale	Installazione di caldaia a condensazione
		Scaldabagno elettrico	Scaldabagno a pompa di calore
#9	Preparazione ACS - PdC	Caldaia tradizionale / Scaldabagno elettrico	Scaldabagno a pompa di calore
#10	Raffrescamento	Climatizzatore	Climatizzatore classe A+++

In tutti i casi a seguito della riqualificazione energetica si ha una riduzione dei consumi di riscaldamento e raffrescamento; l'entità della riduzione è correlata alla rilevanza dell'elemento riqualificato sui consumi energetici dell'abitazione di volta in volta considerata, funzione di particolari (del singolo caso) variabili geometriche e fisico-tecniche.

Anche in questo caso, 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'impianto considerato non è migliorabile, essendo già nella situazione indicata dallo scenario migliorativo oppure non è presente, come nel caso del raffrescamento (#6: 409 abitazioni, 97,6% del totale; #7: 414 abitazioni, 98,8% del totale; #8: 380 abitazioni, 90,7% del totale; #9: 411 abitazioni, 98,1% del totale; #10: 204 abitazioni, 48,7% del totale).

In Figure 8 sono riportati, in termini percentuali rispetto alla situazione esistente, i risparmi di energia primaria e la riduzione delle emissioni locali.

I maggiori risparmi di energia primaria si osservano per gli interventi sul generatore di calore dell'impianto di riscaldamento, in ragione dell'elevata incidenza dei consumi di riscaldamento sui consumi complessivi; per lo scenario #6 considerato i risparmi sono mediamente pari al 6,5%; per lo scenario #7 considerato sono mediamente pari all'8,6%; risparmi meno significativi (< 1,5%) in tutti gli altri scenari considerati.

### Figura 3.7 – Risparmio energetico a seguito di interventi sugli impianti tecnologici.

In Figura 3.8 sono riportati, in termini percentuali rispetto alla situazione esistente, le variazioni osservate relativamente all'entità dei carichi flessibili. Molto significative le variazioni dei parametri osservati a seguito dell'introduzione di pompe di calore (scenari #7 e #9). Per lo scenario simulato #7, l'incremento dei carichi flessibili è mediamente pari al 147,0%; per lo scenario simulato #9, l'incremento dei carichi flessibili è mediamente pari all'80,1%.

**Figura 3.8 – Variazione del potenziale di flessibilità a seguito di interventi sugli impianti tecnologici.**

### 3.2.3 Interventi combinati di riqualificazione energetica dell’involucro edilizio e dei sistemi impiantistici

Da ultimo sono stati simulati gli effetti di una riqualificazione congiunta dell’involucro edilizio e dei sistemi impiantistici.

In particolare, sono stati costruiti cinque scenari combinati, considerando lo scenario di involucro completamente riqualificato (#5), in combinazione con gli scenari di riqualificazione degli impianti tecnologici ritenuti più realistici, alla luce delle caratteristiche degli impianti attualmente presenti nelle abitazioni (Tabella 3.5).

Considerando i layout di sistema più frequenti delle abitazioni oggetto dell’indagine, gli scenari #11 e #12 possono essere considerati rappresentativi di un tipico intervento effettuato su un’abitazione con sistema di riscaldamento centralizzato. La produzione di acqua calda sanitaria per mezzo di una micro-pompa di calore è lo scenario #13 che rappresenta una situazione in cui non c’è la possibilità di aggiornare il sistema di riscaldamento degli ambienti. Gli scenari #14 e #15 possono essere considerati rappresentativi di un intervento completo effettuato su un’abitazione con un sistema di riscaldamento indipendente.

Date la piccola rilevanza osservata nella sezione precedente, non sono stati considerati gli interventi relativi ai sistemi di raffrescamento.

**Tabella 3.5 – Quadro degli interventi combinati.**

#	Intervento	Descrizione
#11	Tutto involucro + impianto riscaldamento	#5 + #6
#12	Tutto involucro + impianto riscaldamento PdC	#5 + #7
#13	Tutto involucro + ACS PdC	#5 + #9
#14	Tutto involucro + riscaldamento + ACS	#5 + #6 + #8
#15	Tutto involucro + riscaldamento PdC+ ACS PdC	#5 + #7 + #9

La Figura 3.9 mostra il risparmio di energia primaria rispetto alla situazione attuale; i cinque scenari combinati sono sostanzialmente equivalenti, con risparmi che vanno dal 32,6%, nel caso dello scenario #11, al 35,7%, nel caso dello scenario #14.

**Figura 3.9 – Risparmio energetico a seguito di interventi combinati sull’involucro e sugli impianti tecnologici.**

La Figura 3.10 mostra le variazioni del potenziale di flessibilità; l’introduzione della pompa di calore come generatore di calore aumenta significativamente l’entità dei carichi flessibili (#12, #13, #15); l’incremento raggiunge il 116,4% nel caso dello scenario #15.

**Figura 3.10 – Variazione del potenziale di flessibilità a seguito di interventi combinati sull’involucro e sugli impianti tecnologici.**

**3.2.4 Quadro riepilogativo degli interventi di riqualificazione energetica**

La Tabella 3.6 riporta un quadro riepilogativo dei risultati relativi agli interventi di riqualificazione che sono stati simulati.

Nel leggere la tabella si osservi che il segno meno corrisponde ad una riduzione del potenziale di flessibilità.

**Tabella 3.6 – Quadro riepilogativo dei risultati relativi ad interventi di riqualificazione energetica.**

#	Intervention	Risparmio energetico	Variazione del potenziale di flessibilità
#1	Pareti verticali	16.3%	-2.4%
#2	Solai di copertura	14.0%	-3.2%
#3	Pavimento inferiore	8.5%	-1.1%
#4	Infissi	6.8%	-0.7%
#5	Riqualificazione complessiva involucro	30.8%	-4.7%
#6	Riscaldamento	6.5%	-3.8%
#7	Riscaldamento — PdC	8.6%	147.0%
#8	Preparazione ACS	3.4%	-5.7%
#9	Preparazione ACS —pdC	2.1%	80.1%
#10	raffrescamento	0.7%	-4.8%
#11	Tutto involucro + impianto riscaldamento	32.6%	-5.5%
#12	Tutto involucro + impianto riscaldamento PdC	33.2%	39.4%
#13	Tutto involucro + ACS PdC	32.8%	72.2%
#14	Tutto involucro + riscaldamento + ACS	35.7%	-10.8%
#15	Tutto involucro + riscaldamento PdC+ ACS PdC	35.5%	116.4%

### 3.3 Introduzione di un kit di automazione

Il foglio di calcolo già era dotato di una sezione utile alla valutazione degli effetti sui consumi energetici di un sistema di automazione diversamente strutturato (kit Low, kit Medium, kit High) (Tabella 3.7).

Tale sezione forniva indicazioni relative al risparmio energetico, ma non alla variazione del potenziale di flessibilità.

Sono state quindi eseguite simulazioni al fine di valutare la variazione del potenziale di flessibilità, conseguente all'introduzione di un sistema di automazione.

**Tabella 3.7 – Caratteristiche kit di automazione.**

Device		kit Low	kit Medium	kit High
Funzione	Tipo	quantità	quantità	quantità
Energy box	Gateway	1	1	1
Monitoraggio	METER elettricità	1	1	1
	METER gas			1
	Sensore temperatura esterna	1	1	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
	Smart switth	1 per stanza	1 per stanza	1 per stanza

L'introduzione di un kit di automazione ha come effetto una riduzione dei consumi energetici e anche una riduzione del potenziale di flessibilità, causando una riduzione dei carichi flessibili.

I valori medi del risparmio energetico e del potenziale di flessibilità sono riportati in Tabella 3.7.

Nel leggere la tabella si osservi che il segno meno corrisponde ad una riduzione del potenziale di flessibilità e che il valore medio dei carichi flessibili, rilevato da precedenti indagini, è pari a 1042 kWh/anno.

**Tabella 3.8 – Quadro riepilogativo dei risultati relativi all'introduzione di un kit di automazione.**

Kit di automazione	Risparmio energetico [kWh-p]	Variazione del potenziale di flessibilità [kWh-e]
Kit Low	910	-33
Kit Medium	1,850	-68
Kit High	1,999	-74



### 3.4 Effetto dei cambiamenti climatici

I cambiamenti climatici in corso possono avere effetti importanti sui consumi energetici del settore residenziale, alterando in maniera significativa il rapporto tra i consumi energetici di riscaldamento e di raffrescamento.

Per questo motivo, utilizzando il database a disposizione (in quel momento, 419 abitazioni) sono stati studiati gli effetti di mutate condizioni ambientali sui consumi energetici delle abitazioni italiane, alla luce della conoscenza dettagliata delle dotazioni e delle abitudini che tale database offre.

Per esaminare il comportamento del campione di edifici in diverse condizioni climatiche, si è immaginato di considerare tutto il campione di edifici di volta in volta collocato nelle città di Milano, Firenze, Roma e Napoli. Il lavoro si articola su più fasi:

- in una prima fase, la simulazione energetica degli edifici è stata condotta considerando i dati climatici standard delle quattro città (secondo UNI 10349) al fine di fornire una caratterizzazione energetica preliminare degli edifici analizzati;
- una seconda fase del lavoro è stata finalizzata a confrontare i consumi energetici di un anno standard con i consumi energetici che si avrebbero con temperature esterne più alte, considerando le dotazioni impiantistiche attualmente presenti nelle abitazioni; la simulazione è stata condotta incrementando la temperatura media mensile in maniera uniforme per tutti i mesi (+1.0°C; +2.0°C), al fine di valutare gli effetti di tali variazioni sui consumi di riscaldamento e di raffrescamento;
- in una terza fase, sono stati considerati gli effetti (sui consumi di raffrescamento) della più semplice e diffusa misura di adattamento, finalizzata al comfort estivo, rappresentata dall'installazione di piccoli impianti di raffrescamento del tipo aria/aria. In particolare, è stata considerata l'introduzione di nuovi climatizzatori (+1; +2), in aggiunta a quelli eventualmente già presenti; è stato assunto un limite superiore al numero complessivo di climatizzatori, considerando al massimo un climatizzatore ogni 20 m<sup>2</sup> di superficie dell'abitazione;
- una quarta fase conclusiva del lavoro è stata sviluppata in chiave propositiva, proponendo una possibile soluzione alle problematiche riscontrate nelle fasi di analisi precedenti; tale soluzione consiste essenzialmente nell'introduzione di un impianto fotovoltaico per l'autoproduzione dell'energia elettrica necessaria al funzionamento degli impianti di climatizzazione; così come l'introduzione di nuovi climatizzatori, in ambito residenziale, l'installazione di un impianto fotovoltaico appare come una delle misure di più semplice attuazione, in ragione di costi relativamente bassi, di tempi di esecuzione brevi e del fatto che può essere installato senza interferire con il normale utilizzo dell'abitazione.

La Tabella 3.9 riporta un riepilogo degli scenari simulati.

**Tabella 3.9 – Scenari simulati.**

Scenario	Dati climatici	Dotazione impiantistica
#0,0	Norma UNI 10349	Dotazione esistente
#0,1		Dotazione esistente + 1 climatizzatore
#0,2		Dotazione esistente + 2 climatizzatori
#1,0	Norma UNI 10349 + 1.0°C	Dotazione esistente
#1,1		Dotazione esistente + 1 climatizzatore
#1,2		Dotazione esistente + 2 climatizzatori
#2,0	Norma UNI 10349 +2.0°C	Dotazione esistente
#2,1		Dotazione esistente + 1 climatizzatore
#2,2		Dotazione esistente + 2 climatizzatori

### 3.4.1 Caratterizzazione energetica delle abitazioni nelle 4 città considerate

Considerando i dati climatici standard delle quattro città, sono state condotte delle simulazioni volte a individuare i consumi di riscaldamento, di raffrescamento e degli altri servizi; nella rappresentazione scelta per i grafici seguenti, gli edifici sono raggruppati secondo la modalità già utilizzata in precedenza (abitazione piccola <50 m<sup>2</sup>; abitazione medio-piccola 50-85 m<sup>2</sup>; abitazione media 85-115 m<sup>2</sup>; abitazione medio-grande 115-145 m<sup>2</sup>; abitazione grande >145 m<sup>2</sup>); i risultati sono espressi in termini di energia primaria e parametrizzati rispetto alla superficie.

Relativamente ai consumi di riscaldamento (Figura 3.11), per le quattro città considerate, considerando le diverse classi dimensionali, non si osservano situazioni di rilievo, se non un consumo specifico leggermente inferiore per le abitazioni più grandi, sebbene con una tendenza non continua. Inoltre, come era lecito aspettarsi, i consumi specifici per riscaldamento sono fortemente influenzati dai gradi giorno della località; a Milano si hanno i consumi maggiori, pari mediamente a 105,0 kWh/m<sup>2</sup>; seguono Firenze (70,5 kWh/m<sup>2</sup>), Roma (64,1 kWh/m<sup>2</sup>), Napoli (54,5 kWh/m<sup>2</sup>).

(a)

(b)

(c)

(d)

**Figura 3.11 – Consumi specifici di energia primaria per riscaldamento – Scenario #0.  
(a) Milano; (b) Firenze; (c) Roma; (d) Napoli.**

Analogamente, con riferimento ai consumi di raffrescamento (Figura 3.12), considerando le diverse classi dimensionali, non si osservano situazioni di rilievo, se non un consumo specifico leggermente inferiore per le abitazioni più grandi, sebbene con una tendenza non continua e con l'eccezione della città di Milano. Relativamente ai consumi di raffrescamento, tuttavia, si osserva una minore dipendenza dei consumi energetici dalla collocazione geografica della città (Milano 1,3 kWh/m<sup>2</sup>; Firenze 1,8 kWh/m<sup>2</sup>; Roma 1,8 kWh/m<sup>2</sup>; Napoli 1,3 kWh/m<sup>2</sup>). Nel leggere i dati di consumo e nell'osservare i grafici, si ricordi che soltanto il 49,4% delle abitazioni è dotato di impianti di raffrescamento e che i valori qui rappresentati includono le abitazioni prive di impianto, per le quali i consumi sono necessariamente pari a zero.

(a)

(b)

(c)

(d)

**Figura 3.12 – Consumi specifici di energia primaria per raffrescamento – Scenario #0.  
(a) Milano; (b) Firenze; (c) Roma; (d) Napoli.**

Per quanto riguarda gli altri consumi energetici (Figura 3.13), si nota una tendenza decrescente passando dalle abitazioni più piccole (120,0 kWh/m<sup>2</sup>a) quelle più grandi (55,0 kWh/m<sup>2</sup>); a livello geografico non si hanno variazioni significative. Vale la pena ricordare che gli altri usi energetici, nella modellazione effettuata, non sono influenzati dalle condizioni climatiche e pertanto, nello studio effettuato sono stati considerati costanti per tutti gli scenari esaminati.

**Figura 3.13 – Consumi specifici di energia primaria per altri usi.**

Quanto sopra esposto consente di valutare l'incidenza dei consumi energetici di riscaldamento e di raffrescamento sui consumi energetici di un'abitazione (Figure 8); tale incidenza varia in funzione della località e della dimensione dell'abitazione; i consumi per il riscaldamento a Milano hanno un'incidenza variabile tra il 49,4% e il 61,0%; a Firenze tra 40,2% e 51,1%; a Roma tra 37,9% e 48,9%; a Napoli tra 34,2% e 45,6%. Molto minore è l'incidenza dei consumi energetici di raffrescamento (Milano 0,4÷1,0%; Firenze 1,0÷1,4%; Roma 1,0÷1,4%; Napoli 0,8÷1,1%).

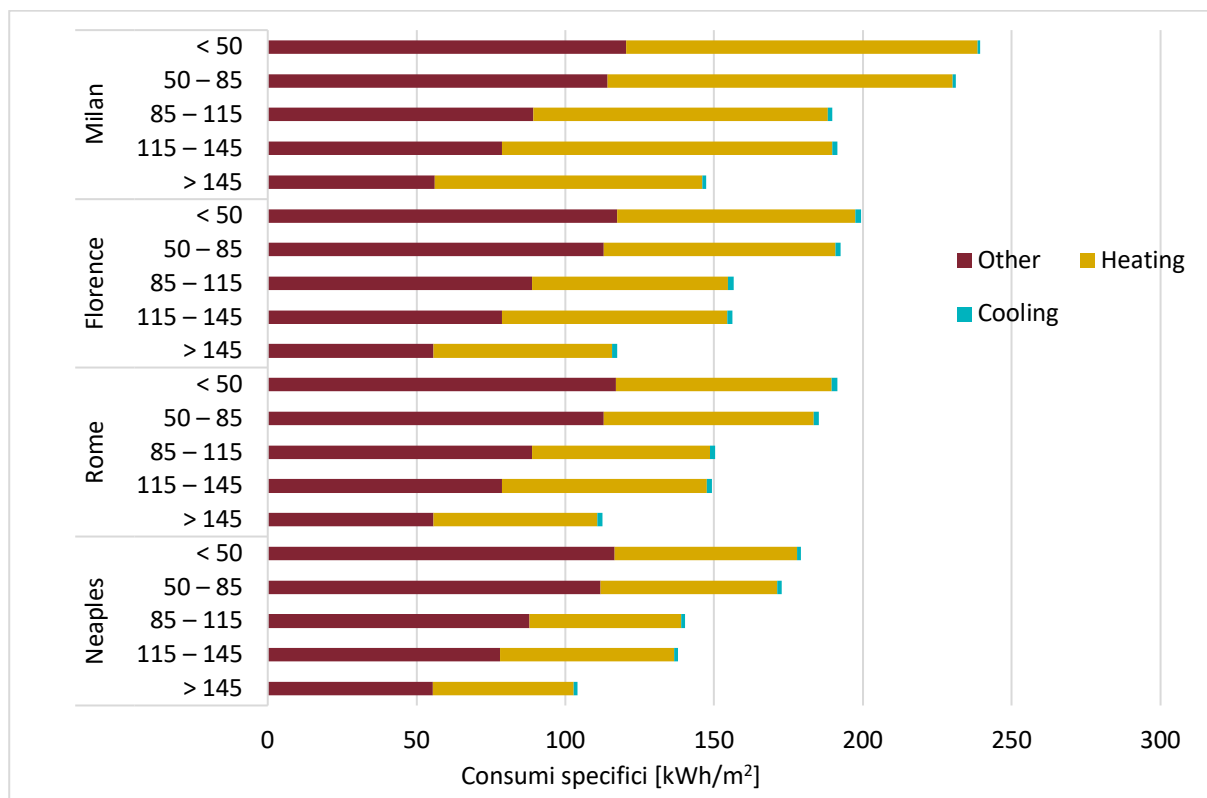


Figura 3.14 – Consumi specifici di energia primaria per riscaldamento, raffrescamento, altri usi.

### 3.4.2 Variazione dei consumi energetici di riscaldamento e raffrescamento al variare della temperatura

In questa sezione sono illustrati i risultati delle simulazioni effettuate per verificare la variazione dei consumi energetici di riscaldamento e raffrescamento al variare della temperatura esterna, considerando un incremento medio di 1°C (scenario #1,0) e di 2°C (scenario #2,0).

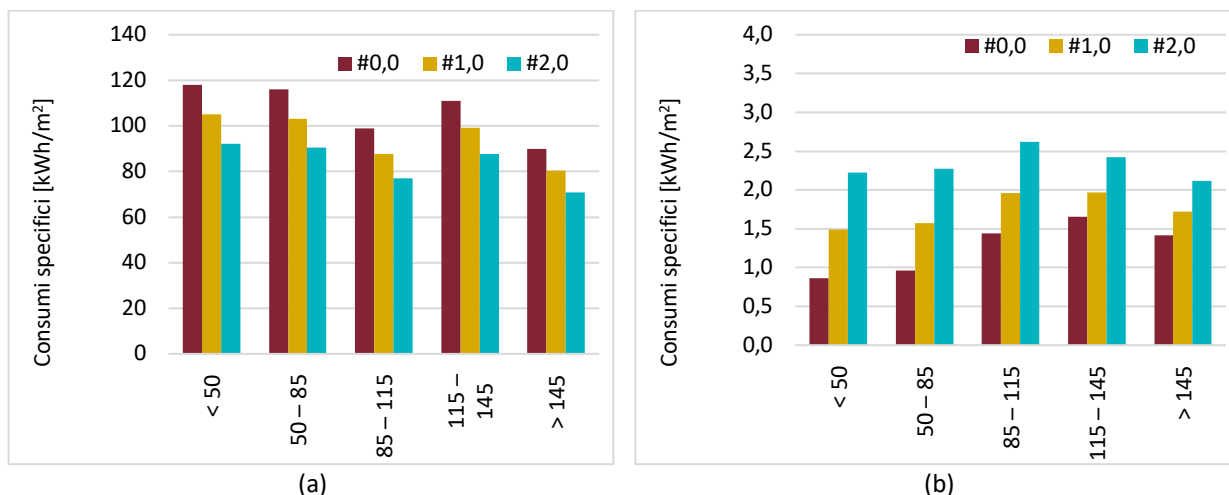
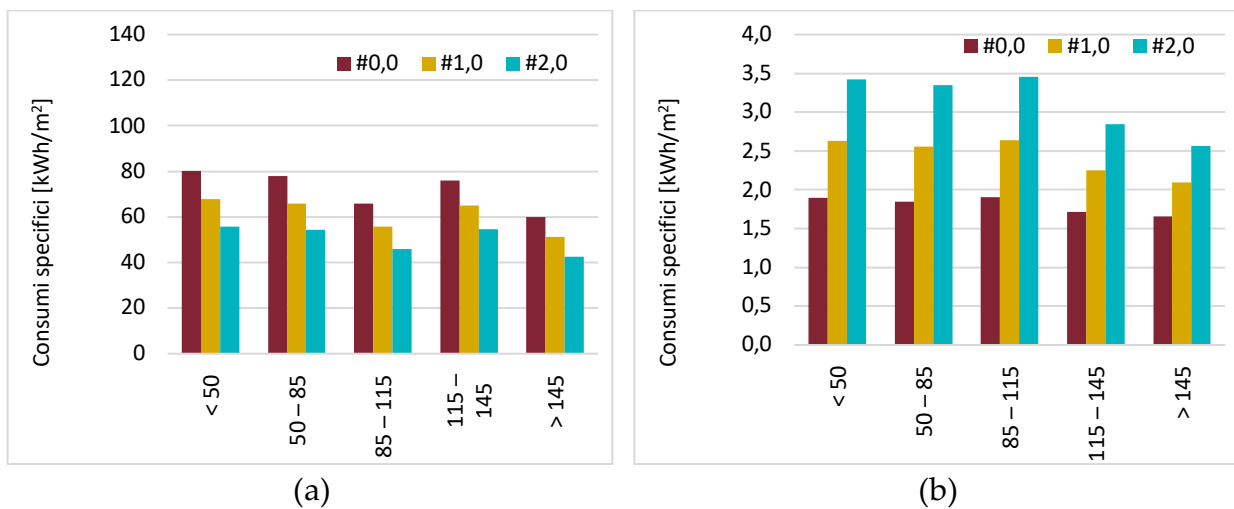


Figura 3.15 – Milano: consumi specifici di energia primaria (a) Riscaldamento; (b) Raffrescamento.

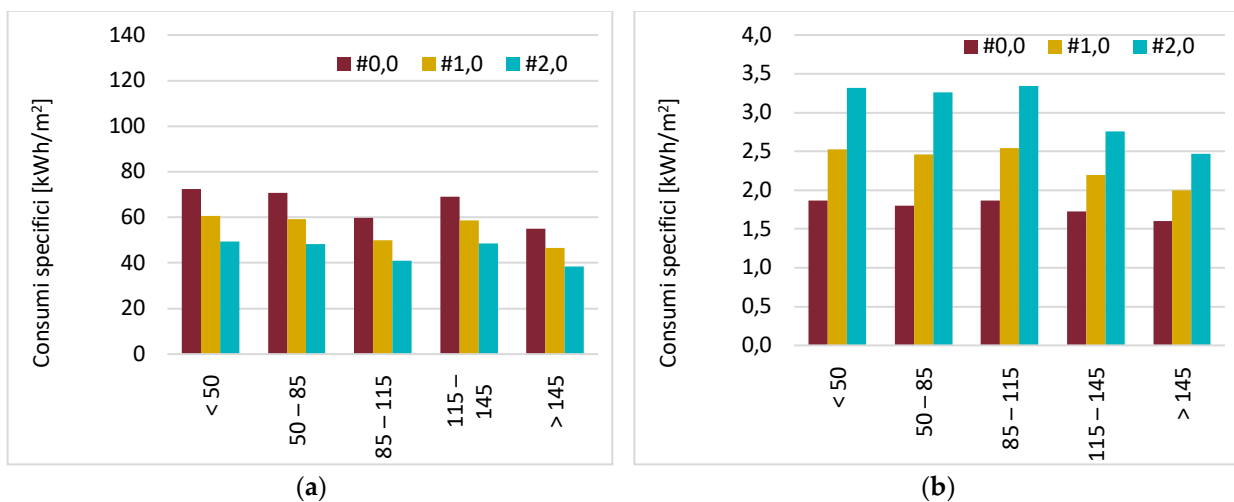
Per la città di Milano, considerando i consumi di riscaldamento (Figura 3.15a) nello scenario #1,0 si ha una riduzione dell'11,0%, mentre nello scenario #2,0 la riduzione è pari al 21,8%; le differenze in funzione della classe dimensionale sono minime. Considerando i consumi di raffrescamento (Figura 3.15b) nello scenario #1,0 si ha un incremento del 35,4%, mentre nello scenario #2,0 l'incremento è pari al 79,9%; l'incremento è più grande per le abitazioni piccole (scenario #1,0 +72,8%; scenario #2,0 + 158,0%) e più piccolo per le abitazioni grandi (#1,0 +21,0%; #2,0 +48,9%).

Per la città di Firenze, considerando i consumi di riscaldamento (Figura 3.16a) nello scenario #1,0 si ha una riduzione del 15,0%, mentre nello scenario #2,0 la riduzione è pari al 29,6%; le differenze in funzione della classe dimensionale sono minime. Considerando i consumi di raffrescamento (Figura 3.16b) nello scenario #1,0 si ha un incremento del 34,8%, mentre nello scenario #2,0 l'incremento è pari al 73,6%; rispetto alla città di Milano si osservano variazioni più contenute in funzione della dimensione dell'abitazione; tuttavia, l'incremento è più grande per le abitazioni piccole (#1,0 +38,8%; #2,0 + 80,5%) e più piccolo per le abitazioni grandi (#1,0 +26,7%; #2,0 +54,8%).



**Figura 3.16 – Firenze: consumi specifici di energia primaria (a) Riscaldamento; (b) Raffrescamento.**

Per la città di Roma, considerando i consumi di riscaldamento (Figura 3.17a) nello scenario #1,0 si ha una riduzione del 15,9%, mentre nello scenario #2,0 la riduzione è pari al 31,0%; le differenze in funzione della classe dimensionale sono minime. Considerando i consumi di raffrescamento (Figura 3.17b) nello scenario #1,0 si ha un incremento del 32,1%, mentre nello scenario #2,0 l'incremento è pari al 71,0%; si osservano variazioni contenute in funzione della dimensione dell'abitazione: l'incremento è più grande per le abitazioni piccole (#1,0 +35,5%; #2,0 + 78,0%) e più piccolo per le abitazioni grandi (#1,0 +24,3%; #2,0 +53,9%).



**Figura 3.17 – Roma: consumi specifici di energia primaria (a) Riscaldamento; (b) Raffrescamento.**

Per la città di Napoli, considerando i consumi di riscaldamento (Figura 3.18a) nello scenario #1,0 si ha una riduzione del 16,6%, mentre nello scenario #2,0 la riduzione è pari al 33,1%; le differenze in funzione della classe dimensionale sono minime. Considerando i consumi di raffrescamento (Figura 3.18b) nello scenario #1,0 si ha un incremento del 45,2%, mentre nello scenario #2,0 l'incremento è pari al 101,3%; si osservano variazioni contenute in funzione della dimensione dell'abitazione: l'incremento è più grande per le abitazioni piccole (#1,0 +48,9%; #2,0 + 108,5%) e più piccolo per le abitazioni grandi (#1,0 +33,9%; #2,0 +76,0%).

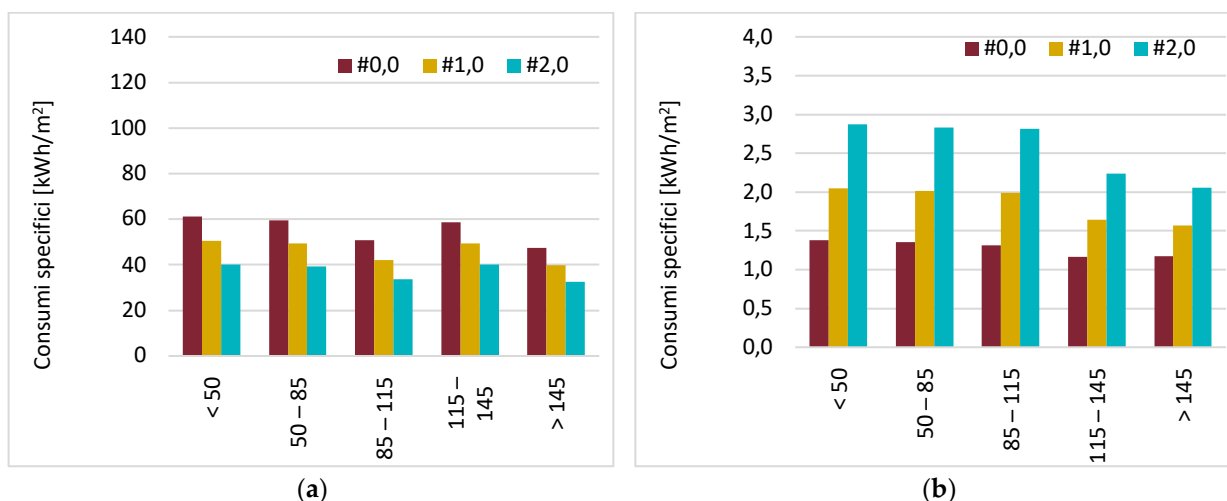


Figura 3.18 – Napoli: consumi specifici di energia primaria (a) Riscaldamento; (b) Raffrescamento.

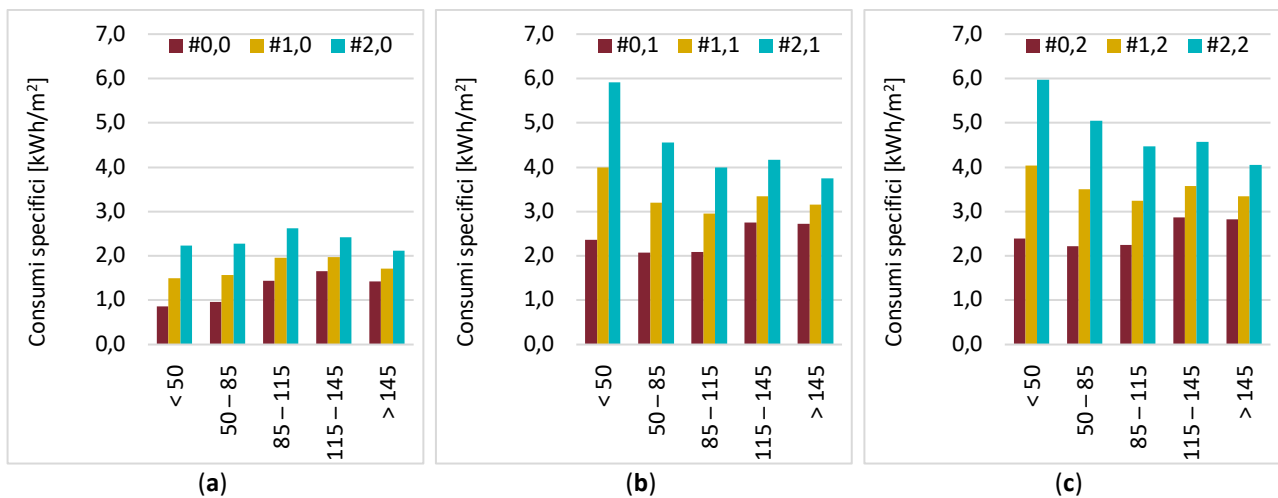
I risultati delle simulazioni mostrano, come era lecito aspettarsi, una riduzione dei consumi di riscaldamento ed un incremento dei consumi di raffrescamento. Relativamente ai consumi di riscaldamento, è stata osservata una diminuzione generalizzata, indipendente dalle dimensioni dell'abitazione; in termini percentuali le riduzioni sono legate alla località e risultano minori ove i gradi giorno sono maggiori. Relativamente ai consumi di riscaldamento è stata osservato un incremento generalizzato, maggiore per le abitazioni più piccole e minore per le abitazioni più grandi; in termini percentuali le riduzioni sono simili tra le località esaminate, con la sola eccezione della città di Napoli dove risultano più alte.

### 3.4.3 Variazione dei consumi energetici di raffrescamento con aggiunta di climatizzatori

In questa sezione sono illustrati i risultati delle simulazioni effettuate per verificare la variazione dei consumi energetici di raffrescamento al variare della temperatura esterna, considerando un incremento medio di 1°C e di 2°C e aggiungendo un climatizzatore (scenari #0,1, #1,1, #2,1) e aggiungendo due climatizzatori (scenari #0,2, #1,2, #2,2); le variazioni dei consumi di raffrescamento, con la dotazione esistente, al variare della temperatura (scenari #0,0, #1,0, #2,0), già esaminate nel paragrafo precedente, sono qui riportate per comodità di lettura (Figura 3.19a, Figura 3.20a, Figura 3.21a, Figura 3.22a).

Per la città di Milano (Figura 3.19), di seguito sono elencati i risultati salienti delle simulazioni:

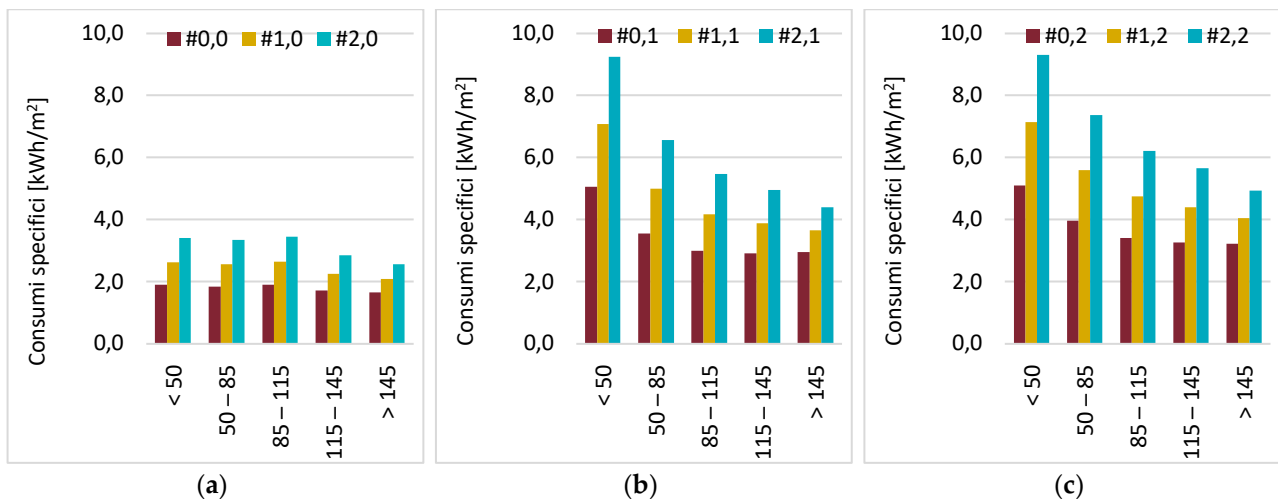
- per le abitazioni piccole nello scenario #0,0 i consumi per raffrescamento sono pari a 0,9 kWh/ym<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 5,9 kWh/ym<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 6,0 kWh/ym<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 556% e al 567%;
- per le abitazioni grandi nello scenario #0,0 i consumi per raffrescamento sono pari a 1,4 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 3,7 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 4,1 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 164% e al 193%;
- mediamente nello scenario #0,0 i consumi per il raffrescamento sono pari a 1,3 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 4,3 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 4,7 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 231% e al 262%.



**Figura 3.19 – Milano: consumi specifici di energia primaria per raffrescamento**  
(a) Dotazione esistente; (b) Dotazione esistente + 1 climatizzatore; (c) Dotazione esistente + 2 climatizzatori.

Per la città di Firenze (Figura 3.20):

- per le abitazioni piccole nello scenario #0,0 i consumi per raffrescamento sono pari a 1,9 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 9,2 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 9,3 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 384% e al 389%;
- per le abitazioni grandi nello scenario #0,0 i consumi per raffrescamento sono pari a 1,7 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 4,4 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 4,9 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 159% e al 188%;
- mediamente nello scenario #0,0 i consumi per il raffrescamento sono pari a 1,8 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 5,8 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 6.4 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 222% e al 256%.

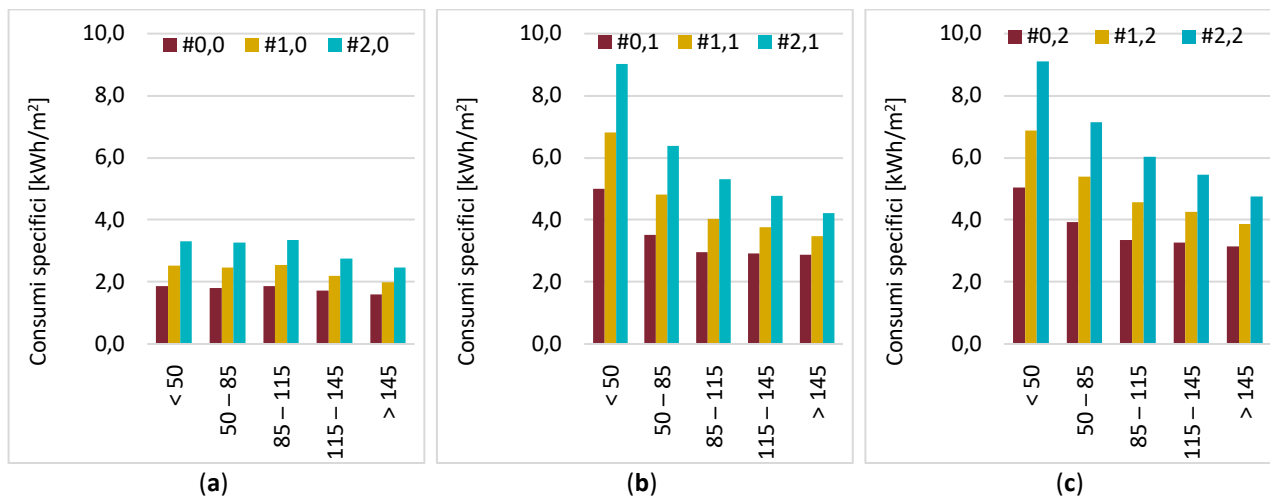


**Figura 3.20 – Firenze: consumi specifici di energia primaria per raffrescamento**  
(a) Dotazione esistente; (b) Dotazione esistente + 1 climatizzatore; (c) Dotazione esistente + 2 climatizzatori.

Per la città di Roma (Figura 3.21):

- per le abitazioni piccole nello scenario #0,0 i consumi per raffrescamento sono pari a 1,9 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 9,0 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 9,1 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 374% e al 379%;
- per le abitazioni grandi nello scenario #0,0 i consumi per raffrescamento sono pari a 1,6 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 4,2 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 4,7 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 163% e al 194%;

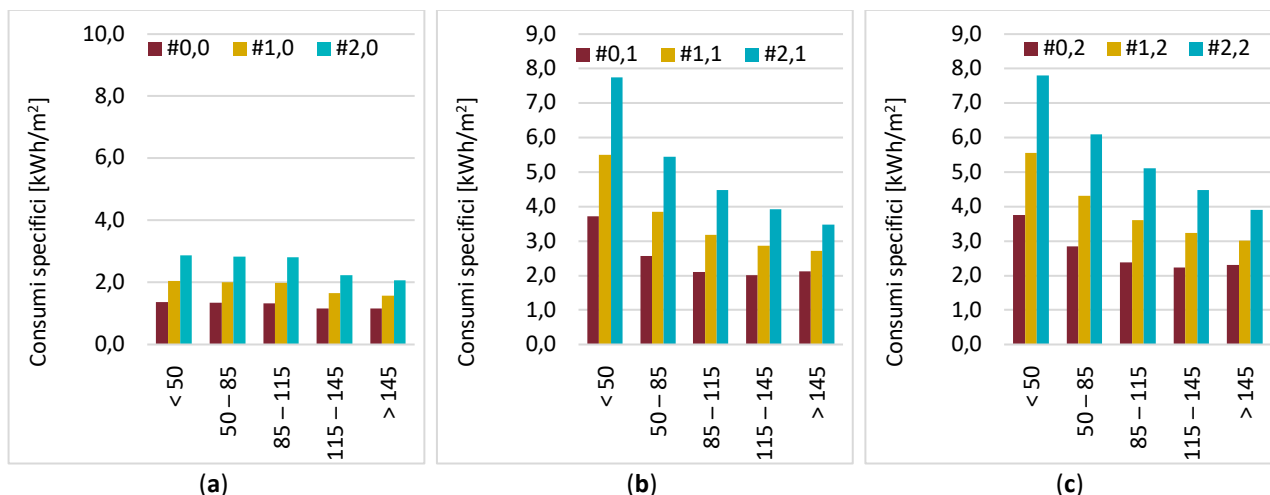
mediamente nello scenario #0,0 i consumi per il raffrescamento sono pari a 1,8 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 5,6 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 6,2 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 211% e al 244%.



**Figura 3.21 – Roma: consumi specifici di energia primaria per raffrescamento**  
**(a) Dotazione esistente; (b) Dotazione esistente + 1 climatizzatore; (c) Dotazione esistente + 2 climatizzatori.**

Per la città di Napoli (Figura 3.22):

- per le abitazioni piccole nello scenario #0,0 i consumi per raffrescamento sono pari a 1,4 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 7,7 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 7,8 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 450% e al 457%;
- per le abitazioni grandi nello scenario #0,0 i consumi per raffrescamento sono pari a 1,2 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 3,5 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 3,9 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 192% e al 225%;
- mediamente nello scenario #0,0 i consumi per il raffrescamento sono pari a 1,3 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,1 sono pari a 4,7 kWh/m<sup>2</sup>; nello scenario #2,2 sono pari a 5,2 kWh/m<sup>2</sup>; gli incrementi sono pari rispettivamente al 262% e al 300%.



**Figura 3.22 – Napoli: consumi specifici di energia primaria per raffrescamento**  
**(a) Dotazione esistente; (b) Dotazione esistente + 1 climatizzatore; (c) Dotazione esistente + 2 climatizzatori.**

In tutte le città considerate, i risultati delle simulazioni mostrano importanti variazioni ai consumi di raffrescamento al variare della temperatura e aggiungendo un climatizzatore; l’aggiunta di un ulteriore climatizzatore produce un incremento più contenuto dei consumi energetici, con effetti significativi solo per le grandi abitazioni.



In termini percentuali, con una temperatura di 2°C superiore e con due climatizzatori in più, si hanno variazioni che superano ovunque il 350% per le abitazioni piccole e il 150% per le abitazioni grandi; mediamente si hanno variazioni tra il 211% e il 300%. In termini assoluti, anche in queste condizioni, i consumi energetici per il raffrescamento delle abitazioni rimangono comunque bassi, conservando una bassa incidenza sui consumi complessivi.

#### 3.4.4 Variazione dei consumi energetici complessivi per gli scenari simulati

In questa sezione è riportato un riepilogo dei risultati di tutte le simulazioni effettuate; la Tabella 3.10 riporta i consumi di energia primaria complessivi, sommando i consumi di energia primaria per riscaldamento, per raffrescamento e per gli altri usi; per ognuno degli scenari simulati, è anche riportata la variazione percentuale rispetto allo scenario #0,0 di riferimento.

**Tabella 3.10 – Riepilogo dei consumi specifici di energia primaria complessivi per tutti gli scenari simulati.**

Città	Scenario	< 50 m <sup>2</sup>		50–85 m <sup>2</sup>		85–115 m <sup>2</sup>		115–145 m <sup>2</sup>		> 145 m <sup>2</sup>	
		[kWh/ym <sup>2</sup> ]	[%]	[kWh/ym <sup>2</sup> ]	[%]	[kWh/ym <sup>2</sup> ]	[%]	[kWh/ym <sup>2</sup> ]	[%]	[kWh/ym <sup>2</sup> ]	[%]
Milano	#0,0	239,4		231,1		189,7		191,4		147,4	
	#0,1	240,9	0,6%	232,2	0,5%	190,4	0,3%	192,4	0,6%	148,7	0,9%
	#0,2	240,9	0,6%	232,4	0,5%	190,5	0,4%	192,6	0,6%	148,8	1,0%
	#1,0	226,6	-5,3%	218,5	-5,5%	178,9	-5,7%	179,8	-6,0%	138,1	-6,3%
	#1,1	229,1	-4,3%	220,1	-4,8%	179,9	-5,2%	181,2	-5,3%	139,5	-5,3%
	#1,2	229,2	-4,3%	220,4	-4,6%	180,2	-5,0%	181,4	-5,2%	139,7	-5,2%
	#2,0	214,2	-10,5%	206,2	-10,8%	168,5	-11,2%	168,7	-11,9%	129,0	-12,5%
	#2,1	217,9	-9,0%	208,5	-9,8%	169,9	-10,4%	170,4	-11,0%	130,6	-11,4%
#2,2	217,9	-9,0%	209,0	-9,6%	170,4	-10,2%	170,8	-10,7%	130,9	-11,2%	
Firenze	#0,0	199,3	-16,7%	192,6	-16,7%	156,5	-17,5%	156,2	-18,4%	117,4	-20,3%
	#0,1	202,5	-15,4%	194,3	-15,9%	157,6	-16,9%	157,4	-17,7%	118,7	-19,4%
	#0,2	202,5	-15,4%	194,7	-15,8%	158,0	-16,7%	157,8	-17,5%	119,0	-19,3%
	#1,0	187,5	-21,7%	181,1	-21,6%	146,8	-22,6%	145,9	-23,8%	109,0	-26,0%
	#1,1	191,9	-19,8%	183,6	-20,6%	148,4	-21,8%	147,5	-22,9%	110,6	-25,0%
	#1,2	192,0	-19,8%	184,1	-20,3%	148,9	-21,5%	148,0	-22,6%	111,0	-24,7%
	#2,0	176,0	-26,5%	170,1	-26,4%	137,6	-27,4%	135,7	-29,1%	100,7	-31,6%
	#2,1	181,8	-24,0%	173,3	-25,0%	139,7	-26,4%	137,8	-28,0%	102,6	-30,4%
#2,2	181,9	-24,0%	174,1	-24,7%	140,4	-26,0%	138,5	-27,6%	103,1	-30,0%	
Roma	#0,0	191,4	-20,0%	185,2	-19,9%	150,4	-20,7%	149,3	-22,0%	112,4	-23,8%
	#0,1	194,5	-18,7%	186,9	-19,1%	151,5	-20,1%	150,5	-21,3%	113,6	-22,9%
	#0,2	194,6	-18,7%	187,3	-18,9%	151,9	-19,9%	150,9	-21,2%	113,9	-22,7%
	#1,0	179,9	-24,8%	174,2	-24,6%	141,2	-25,6%	139,2	-27,2%	104,2	-29,3%
	#1,1	184,2	-23,1%	176,6	-23,6%	142,6	-24,8%	140,8	-26,4%	105,7	-28,3%
	#1,2	184,2	-23,0%	177,1	-23,3%	143,2	-24,5%	141,3	-26,2%	106,1	-28,0%
	#2,0	169,3	-29,3%	163,9	-29,1%	132,5	-30,1%	129,6	-32,3%	96,4	-34,6%
	#2,1	175,0	-26,9%	167,0	-27,7%	134,5	-29,1%	131,6	-31,2%	98,1	-33,4%
#2,2	175,0	-26,9%	167,8	-27,4%	135,2	-28,7%	132,3	-30,9%	98,7	-33,1%	
Napoli	#0,0	179,2	-25,1%	172,6	-25,3%	140,2	-26,1%	137,8	-28,0%	104,0	-29,4%
	#0,1	181,5	-24,2%	173,8	-24,8%	141,0	-25,7%	138,6	-27,6%	105,0	-28,8%
	#0,2	181,6	-24,1%	174,1	-24,7%	141,3	-25,5%	138,8	-27,4%	105,2	-28,6%
	#1,0	168,9	-29,4%	162,8	-29,5%	132,0	-30,4%	128,9	-32,6%	96,8	-34,3%
	#1,1	172,4	-28,0%	164,7	-28,7%	133,2	-29,8%	130,1	-32,0%	97,9	-33,6%
	#1,2	172,4	-28,0%	165,1	-28,5%	133,6	-29,6%	130,5	-31,8%	98,2	-33,4%
	#2,0	159,1	-33,5%	153,4	-33,6%	124,0	-34,6%	120,2	-37,2%	89,7	-39,1%
	#2,1	164,0	-31,5%	156,0	-32,5%	125,7	-33,8%	121,9	-36,3%	91,1	-38,2%
#2,2	164,0	-31,5%	156,6	-32,2%	126,3	-33,4%	122,5	-36,0%	91,5	-37,9%	

Nei paragrafi precedenti si è osservato che, a seguito di un incremento della temperatura esterna, i consumi per il riscaldamento diminuiscono ed i consumi per il raffrescamento aumentano; l'aumento dei consumi energetici per il raffrescamento è maggiore qualora si consideri l'aggiunta di ulteriori climatizzatori. Tuttavia, l'incidenza dei consumi di riscaldamento è più alta e quindi, sommando le due variazioni, si ha una riduzione

dei consumi energetici complessivi; questa circostanza si verifica per tutti gli scenari esaminati e per tutte le località; fanno eccezione unicamente gli scenari #0,1 e #0,2 per la città di Milano. In termini complessivi, per molti degli scenari simulati, si possono raggiungere riduzioni superiori al 20%.

Ragionando su base annuale e considerando i consumi energetici complessivi, si può quindi affermare che, a seguito di un incremento della temperatura esterna, i consumi del settore residenziale tenderanno a diminuire, grazie alla consistente riduzione dei consumi di riscaldamento

### 3.4.5 Analisi mensile dei consumi di raffrescamento: criticità e possibili soluzioni

Si è appena visto che un incremento della temperatura esterna può avere effetti complessivamente positivi sui consumi energetici del settore residenziale italiano. L'analisi su scala annuale, tuttavia, non permette di evidenziare i problemi che un incremento dei consumi energetici di raffrescamento può generare sul sistema elettrico nei mesi estivi.

Per le tipiche condizioni climatiche italiane, la stagione di raffrescamento ha una durata non superiore a 4 mesi, includendo i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre; è in questi mesi, ed in particolare a luglio e agosto, che si concentra l'incremento dei consumi di energia elettrica per il raffrescamento delle abitazioni. Considerando tutte le abitazioni e con riferimento ai soli mesi estivi, la Tabella 3.11 riporta la variazione percentuale dei consumi elettrici complessivi, confrontando tutti gli scenari simulati con lo scenario di riferimento #0,0.

**Tabella 3.11 – Variazioni percentuali dei consumi elettrici rispetto allo scenario #0,0 nei mesi estivi.**

Città	Scenario	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Milano	#0,1	0,7%	7,2%	8,4%	0,4%
	#0,2	0,9%	9,6%	11,1%	0,4%
	#1,0	2,3%	5,3%	5,2%	0,6%
	#1,1	4,4%	16,4%	17,4%	1,4%
	#1,2	5,1%	20,1%	21,5%	1,6%
	#2,0	6,4%	10,8%	10,5%	2,5%
	#2,1	11,5%	25,8%	26,7%	4,6%
	#2,2	13,1%	30,8%	32,0%	5,2%
Firenze	#0,1	3,1%	10,7%	9,0%	0,3%
	#0,2	4,1%	14,3%	12,0%	0,3%
	#1,0	4,5%	5,1%	5,1%	0,1%
	#1,1	10,9%	19,5%	17,9%	0,4%
	#1,2	13,0%	24,3%	22,2%	0,4%
	#2,0	10,1%	10,2%	10,4%	0,4%
	#2,1	20,4%	28,4%	27,1%	0,9%
	#2,2	23,8%	34,5%	32,6%	1,0%
Roma	#0,1	0,7%	10,3%	11,2%	0,3%
	#0,2	0,9%	13,8%	14,9%	0,4%
	#1,0	2,2%	5,3%	5,1%	0,6%
	#1,1	4,4%	19,5%	20,0%	1,3%
	#1,2	5,0%	24,3%	24,9%	1,5%
	#2,0	6,2%	10,5%	10,2%	2,3%
	#2,1	11,2%	28,6%	28,8%	4,2%
	#2,2	12,9%	34,6%	35,0%	4,8%
Napoli	#0,1	0,7%	7,2%	8,4%	0,4%
	#0,2	0,9%	9,6%	11,1%	0,4%
	#1,0	2,3%	5,3%	5,2%	0,6%
	#1,1	4,4%	16,4%	17,4%	1,4%
	#1,2	5,1%	20,1%	21,5%	1,6%
	#2,0	6,4%	10,8%	10,5%	2,5%
	#2,1	11,5%	25,8%	26,7%	4,6%
	#2,2	13,1%	30,8%	32,0%	5,2%

Soprattutto per i mesi di luglio e agosto, le simulazioni effettuate mostrano una situazione di forte criticità. L'incremento di temperatura esterna e l'installazione di nuovi climatizzatori può portare ad un incremento

dei consumi elettrici superiore al 20%. Considerando che il mese di luglio è già il mese con il maggior assorbimento di energia elettrica, un ulteriore incremento potrebbe mettere in difficoltà il sistema elettrico, soprattutto nelle grandi città.

Una possibile soluzione alla criticità evidenziata può essere ottenuta con l'autoproduzione e l'autoconsumo di energia elettrica, ottenuta ad esempio installando impianti fotovoltaici sulle coperture degli edifici. Considerando la producibilità di un impianto fotovoltaico in condizioni di irraggiamento ottimale (slope, azimuth) e considerando impianti in silicio cristallino, è stata quindi calcolata la superficie degli impianti fotovoltaici da installare sulla copertura degli edifici, per arrivare alla compensazione integrale dei consumi elettrici aggiuntivi sopra calcolati. In particolare, tale superficie è stata calcolata utilizzando il valore medio di 19,8 m<sup>2</sup>/kW (calcolato secondo le indicazioni precedentemente riportate).

La Tabella 3.12 riporta i risultati delle stime effettuate, indicando la superficie aggiuntiva in percentuale rispetto alla superficie della singola abitazione.

**Tabella 3.12 – Superfici degli impianti fotovoltaici in percentuale rispetto alla superficie in pianta della singola abitazione.**

Città	Scenario	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Milano	#0,1	0,2%	1,3%	0,9%	0,1%
	#0,2	0,3%	1,8%	1,2%	0,1%
	#1,0	0,7%	1,4%	1,1%	0,0%
	#1,1	1,3%	3,7%	2,9%	0,1%
	#1,2	1,5%	4,5%	3,4%	0,1%
	#2,0	1,8%	2,9%	2,4%	0,0%
	#2,1	3,3%	6,3%	5,1%	0,1%
Firenze	#0,1	0,8%	2,9%	2,4%	0,1%
	#0,2	1,1%	3,9%	3,2%	0,1%
	#1,0	1,2%	1,4%	1,4%	0,0%
	#1,1	2,9%	5,3%	4,8%	0,1%
	#1,2	3,4%	6,6%	6,0%	0,1%
	#2,0	2,6%	2,8%	2,8%	0,1%
	#2,1	5,3%	7,7%	7,3%	0,2%
Roma	#0,1	0,2%	2,6%	2,9%	0,1%
	#0,2	0,2%	3,5%	3,9%	0,1%
	#1,0	0,5%	1,3%	1,3%	0,2%
	#1,1	1,0%	4,9%	5,3%	0,4%
	#1,2	1,2%	6,2%	6,6%	0,4%
	#2,0	1,4%	2,7%	2,7%	0,6%
	#2,1	2,6%	7,2%	7,6%	1,1%
Napoli	#0,1	0,2%	1,7%	2,1%	0,1%
	#0,2	0,2%	2,3%	2,8%	0,1%
	#1,0	0,5%	1,3%	1,3%	0,2%
	#1,1	1,0%	3,9%	4,3%	0,4%
	#1,2	1,1%	4,8%	5,3%	0,4%
	#2,0	1,4%	2,6%	2,6%	0,6%
	#2,1	2,6%	6,2%	6,6%	1,2%
#2,2	2,9%	7,4%	7,9%	1,3%	

Facendo riferimento al mese di maggiore criticità per il sistema elettrico (luglio), le stime effettuate indicano che la superficie di nuovi impianti fotovoltaici (per coprire il fabbisogno aggiuntivo di energia elettrica derivante dalla climatizzazione estiva) può superare in molti casi il 4,5% della superficie della singola abitazione.

I valori riportati in tabella, calcolati con riferimento al complesso di tutte le abitazioni, rappresentano un valore medio utilizzabile solo per valutazioni preliminari; tuttavia, in molte situazioni tipiche di un contesto

urbano, per come sono stati calcolati, tali valori sono sicuramente approssimati per difetto, dal momento che:

- nelle città tipicamente si hanno edifici multipiano; di conseguenza la superficie di copertura utilizzabile deve essere ripartita tra i vari piani;
- non tutte le superfici di copertura possono essere utilizzate per l'installazione di un impianto fotovoltaico (superfici già utilizzate, vincoli architettonici, condizioni di irraggiamento non buone);
- la tendenza moderna porta alla realizzazione di abitazioni di piccole dimensioni; per queste si è visto che i consumi specifici per la climatizzazione sono più alti, potendo risultare anche doppi rispetto ad un'abitazione grande.

Nel caso in cui si verificassero contemporaneamente le circostanze sfavorevoli sopra elencate, la superficie di copertura dell'edificio potrebbe risultare insufficiente alla soluzione delle criticità evidenziate. Diversamente, nel caso in cui queste circostanze non si verificassero, la copertura dell'edificio risulterebbe sicuramente sufficiente.

## 4 Implementazioni del foglio di calcolo

Nei paragrafi precedenti sono state illustrate delle attività di analisi sul database di casi reali finalizzate alla valutazione dell'incidenza dei singoli servizi sui consumi energetici dell'abitazione e alla definizione di benchmark da utilizzare come riferimento.

Sono state anche illustrati scenari evolutivi per le abitazioni rappresentati da piccoli interventi di risparmio energetico, da interventi riqualificazione energetica dell'abitazione dall'introduzione di un sistema di automazione, da condizioni climatiche differenti da quelle attuali, quale conseguenza dei cambiamenti climatici in corso.

Le risultanze di tali attività di analisi sono state utilizzate per la riformulazione del questionario di raccolta dati, con riduzione del numero di input, con semplificazione dell'interfaccia di output e con implementazione di funzioni aggiuntive.

### 4.1 Riduzione del numero di input

Una prima considerazione sulla compilazione dei questionari, finalizzata alla riduzione del numero di input, può essere sviluppata ragionando sull'effettiva compilazione da parte degli utenti.

In particolare, si è osservato che:

- nella sezione 4.2 REFRIGERAZIONE, pur essendo presenti 4 righe di input, la quarta riga è stata utilizzata una sola volta (0,1% del totale);
- nella sezione 4.8 ALTRI APPARECCHI, pur essendo presenti 4 righe di input, la quarta riga è stata utilizzata quattro sole volte (0,5% del totale).

Quanto sopra suggerisce di eliminare le righe di input evidenziate a favore di una maggiore snellezza del questionario.

In aggiunta, si è osservato che, nella sezione 4.6 PC e INTERNET, relativamente alla connessione a internet, c'è una netta prevalenza (87,5%) delle connessioni di tipo flat (sempre connessa).

Una seconda considerazione è riferita all'incidenza dei singoli servizi sui consumi di energia primaria. Avendo individuato i servizi marginali sulla base del valore limite del 2% per il terzo quartile delle abitazioni, si è deciso di congelare gli input relativi a postazioni audio/video, apparecchiature di cucina ad uso marginale, connessione internet e stampanti, avendo constatato una minima incidenza sui consumi di energia primaria dell'abitazione; anche i consumi di energia primaria per "altre apparecchiature" risultano sotto il valore limite; 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.

Alla luce delle considerazioni effettuate si è proceduto eliminando le righe di input poco utilizzate e congelando gli input del foglio di calcolo riferiti ai servizi marginali.

Osservando che tutte le apparecchiature "congelate" sono ad alimentazione elettrica, si è proceduto con un'ulteriore analisi volta a valutare i consumi elettrici di tali utenze, ritenendo tale indicazione più precisa rispetto a quella relativa all'energia primaria.

**Tabella 4.1 – Consumi elettrici dei servizi marginali [kWh].**

	min	media	max	primo quartile	mediana	terzo quartile
Audio/Video	0	19	70	8	16	24
Cucina (apparecchiature marginali)	10	64	681	11	46	95
PC e internet (connessione e stampanti)	0	86	639	87	96	98

Utilizzando il valore medio riportato in Tabella 4.1, nel foglio di calcolo gli input sono stati congelati in maniera tale che risultino:

- per le postazioni audio/video, consumi elettrici pari a 19 kWh/anno;
- per le apparecchiature di cucina ad uso marginale, consumi elettrici pari a 64 kWh/anno;
- per la connessione a internet e per le stampanti, consumi elettrici pari a 86 kWh/anno.

Successivamente all'operazione di congelamento degli input nelle modalità appena definite si è proceduto alla rielaborazione delle simulazioni per tutte le abitazioni presenti nel database.

La Tabella 4.2 mostra i risultati del confronto (in termini di energia primaria) tra la vecchia modalità di simulazione (con tutti gli input) e la nuova modalità (con alcuni input congelati).

**Tabella 4.2 – Differenza tra le due versioni per consumi elettrici dei diversi servizi [kWh-p].**

	min	media	max	primo quartile	mediana	terzo quartile
Riscaldamento	-320,3	0,9	89,4	-6,9	-1,4	4,8
Raffrescamento	-15,6	0,2	33,9	0,0	0,0	0,0
ACS	-2,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0
Cucina	-127,3	-18,6	289,3	-108,0	-35,5	56,9
Refrigerazione	-4,9	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0
Lavaggio	-4,8	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0
Pulizia e stiratura	-4,9	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0
Illuminazione	-4,8	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0
PC e internet	-220,5	-6,5	290,2	0,0	16,3	22,2
Cura della persona	-4,9	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0
Audio/Video	-48,8	-1,4	120,7	-24,9	-8,8	10,7
Altre apparecchiature	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Totale	-324,0	-25,3	408,8	-109,8	-32,4	61,2

In termini statistici, facendo riferimento al totale dei consumi, le differenze appaiono sicuramente accettabili; sebbene in qualche caso si arrivi a valori alti della differenza, il valore medio è infatti di circa -25 kWh di energia primaria. Nel 50% dei casi la differenza è compresa tra -109,8 kWh e 61,2 kWh di energia primaria.

#### 4.2 Semplificazione dell'interfaccia di output

Il foglio di calcolo, nella vecchia versione, prevedeva una doppia interfaccia finale, una rivolta all'utente e una rivolta ad un potenziale aggregatore.

Tra gli output del foglio di calcolo era inclusa anche una valutazione di tre kit di automazione, al fine di indirizzare la scelta verso uno di questi.

Nella nuova versione del foglio di calcolo la sezione di interfaccia finale è stata unificata ed è stata eliminata la valutazione dei kit di automazione.

L'eliminazione della valutazione dei kit di automazione è stata decisa per diverse motivazioni.

Una prima motivazione risiede nell'analisi effettuata: si è infatti osservato che l'incidenza dei kit di automazione sulla flessibilità delle abitazioni è molto piccola.

Una seconda, più forte, motivazione risiede nella necessità di approfondire le caratteristiche dei kit di automazione e i riflessi sulle abitudini degli utenti e sui consumi energetici delle abitazioni.

Tale approfondimento è oggetto delle prossime annualità di questa ricerca, durante le quali saranno installati kit di automazione in alcune abitazioni campione.

### 4.3 Implementazione di funzioni aggiuntive

Nella vecchia versione il foglio di calcolo prevedeva una rappresentazione con grafici a torta, con una ripartizione dei consumi di energia primaria e delle emissioni di anidride carbonica equivalente tra i servizi di climatizzazione invernale, climatizzazione estiva, preparazione ACS, illuminazione e altri usi Figura 4.1.

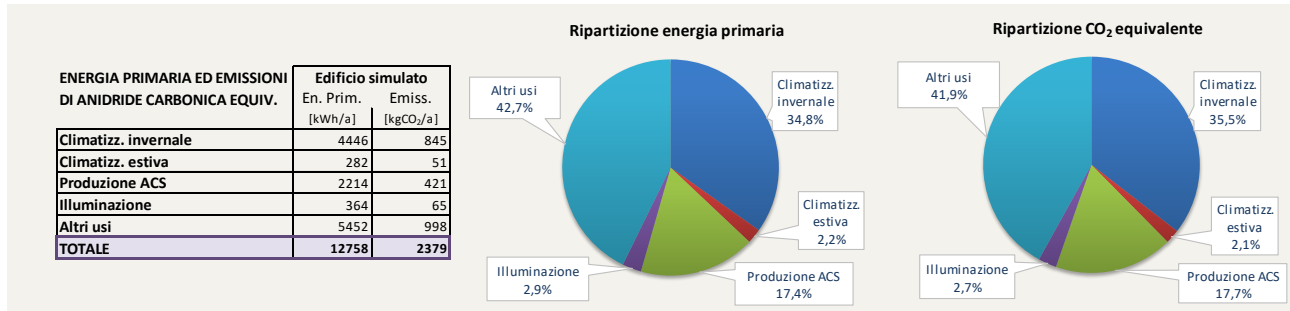


Figura 4.1 – Ripartizione consumi energia primaria ed emissioni. Vecchia versione.

Tale sezione è stata migliorata, aumentando le categorie di ripartizione (riscaldamento, raffrescamento, produzione ACS, cucina, refrigerazione, lavaggio, pulizia e stiratura, illuminazione, computer/internet, cura della persona, altri usi).

E' stata inoltre abbandonata la rappresentazione con grafici a torta in quanto spesso il foglio Excel mostrava delle etichette sovrapposte illeggibili.

La nuova sezione si presenta ora come riportato in Figura 4.2.

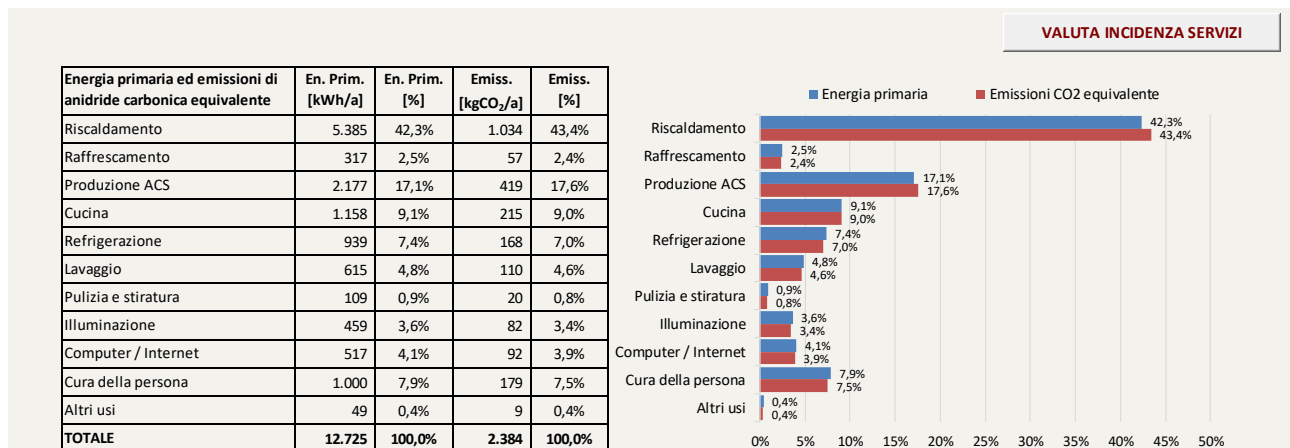


Figura 4.2 – Ripartizione consumi energia primaria ed emissioni. Nuova versione.

Altra novità della nuova versione è rappresentata dall'utilizzo di benchmark interni derivati dall'attività di analisi sul database per un confronto tra i consumi simulati e i consumi dell'abitazione di riferimento.

In particolare, viste le correlazioni individuate in precedenza, i benchmark implementati in questa versione del foglio di calcolo sono quelli relativi:

- ai consumi di gas, nella versione a tre variabili di input (superficie, numero di occupanti e gradi giorno) rappresentata dall'equazione (1);
- ai consumi di energia elettrica, nella versione a due variabili di input (superficie e numero di occupanti) rappresentata dall'equazione (4);
- all'elettrificazione dell'abitazione, con il valore medio di archivio (35,8%).

$$CG = -488,19 + 5.3151 \cdot S + 46,839 \cdot N + 0,52148 \cdot GG \quad (1)$$

$$CE = 748,68 + 3,3055 \cdot S + 351,72 \cdot N \quad (4)$$

Con l'intenzione di un aggiornamento continuo dei benchmark, al crescere della dimensione del database, è stato inserito un foglio di interfaccia.

Lo stesso foglio di interfaccia i dati necessari al calcolo dei costi della bolletta energetica.

Altra novità auspicata per questa versione del foglio di calcolo (ma non ancora implementata) è un aggiornamento in continuo dei dati di costo del gas e dell'energia elettrica con comunicazione con il portale istituzionale dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) (<https://www.ilportaleofferte.it/portaleOfferte/>).

Per compatibilità con il portale ARERA, è stato aggiunto quale dato di input il CAP della località dove è situata l'abitazione.

Infine, avendo osservato come il potenziale di flessibilità dell'abitazione risulti fortemente influenzato sia da piccoli interventi di risparmio energetico, sia da interventi riqualificazione energetica dell'abitazione, si è deciso di includere stabilmente nel foglio di calcolo la valutazione dei seguenti interventi:

1. Isolamento pareti
2. Isolamento soffitto
3. Isolamento pavimento
4. Sostituzione infissi
5. Sostituzione generatore e regolazione riscaldamento
6. Sostituzione generatore ACS
7. Sostituzione condizionatori
8. Sostituzione frigoriferi
9. Sostituzione lavatrice
10. Sostituzione asciugatrice
11. Sostituzione lavastoviglie
12. Sostituzione lampade
13. Installazione impianto fotovoltaico
14. Installazione impianto fotovoltaico con accumulo

I risultati della valutazione vengono riportati in una sezione di output del foglio di calcolo, che include i 5 migliori interventi, considerando il risparmio in termini di energia primaria.

#### *4.4 Impianti fotovoltaici*

L'attività di ricerca svolta ha come obiettivo finale una crescita della consapevolezza energetica degli utenti residenziali; questo implica non solo la conoscenza dei propri consumi, ma anche la conoscenza dei possibili interventi volti al risparmio energetico e alla produzione di energia da fonte rinnovabile.

In ambito residenziale, la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile è quasi sempre effettuata attraverso impianti fotovoltaici. L'installazione di un impianto fotovoltaico è una delle misure di più semplice attuazione, in ragione di costi relativamente bassi, di tempi di esecuzione brevi e del fatto che può essere eseguita senza interferire con il normale utilizzo dell'abitazione. In aggiunta, la modularità degli impianti fotovoltaici e la natura diffusa della risorsa solare possono consentire una facile pianificazione degli interventi, sia considerando la singola abitazione, sia considerando l'edificio nella sua interezza.

Nell'analizzare lo scenario evolutivo connesso ai cambiamenti climatici si è visto che una possibile soluzione alle problematiche riscontrate è l'installazione di impianti fotovoltaici.

Un altro studio [8], condotto a latere di questa ricerca, analizza le problematiche connesse all'introduzione di nuovi impianti per l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, con riferimento specifico al consumo di suolo. I risultati dello studio mostrano la possibilità di raggiungere gli obiettivi di produzione di energia elettrica da



fonte rinnovabile al 2030 senza incrementare il consumo di suolo; lo stesso studio, tuttavia, indica che, considerando obiettivi più ambiziosi, sarà sempre più difficile evitare ulteriori consumi di suolo.

L'installazione di impianti fotovoltaici sulle coperture delle abitazioni è pertanto da considerare come uno degli interventi prioritari da realizzare in proiezione futura.

Alla luce di queste considerazioni, la sezione di simulazione degli impianti fotovoltaici è stata modificata rispetto alla versione precedente del foglio di calcolo.

Sono stati aggiunti alcuni input utili a quantificare in maniera corretta le possibilità derivanti dall'introduzione di un impianto fotovoltaico.

Nella sezione relativa ai dati generali è richiesto di indicare anche il numero di piani dell'edificio (Figura 4.3), al fine di comprendere la grandezza della superficie di copertura disponibile per installare nuovi impianti fotovoltaici (almeno in via approssimata).

2.1 DATI GENERALI	
Periodo di costruzione	1946-61
Numero di piani dell'abitazione (non dell'intero edificio)	1
Numero di piani dell'intero edificio	1
Altezza media (in metri) di ogni piano	2,66
Numero di stanze (compresi disimpegni e corridoi)	7
Numero di finestre	8
Colore dei muri esterni	Molto chiaro (bianco)
Colore della copertura	Medio

Figura 4.3 –Sezione dati generali – Nuova versione.

Nella sezione relativa all'impianto fotovoltaico è stata aggiunta la possibilità di inserire e simulare gli effetti di una batteria di accumulo; tale sezione è stata anche arricchita con suggerimenti relativi alla potenza di picco dell'impianto fotovoltaico e alla capacità della batteria di accumulo (Figura 4.4).

3.5 IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO (per energia elettrica)			
Potenza dell'impianto fotovoltaico	1,00	kWp	Potenza consigliata: 1,6 kWp
Inclinazione (tilt)	30	°	Stima max potenza installabile: 4,0 kWp
Orientamento rispetto al sud (azimut)	0	°	
Capacità della batteria di accumulo	5,90	kWh	Valore consigliato: 4,2 kWh

Figura 4.4 –Impianto solare fotovoltaico – Nuova versione.

#### 4.5 Confronto tra nuova e vecchia versione

Alla luce di quanto descritto nei paragrafi precedenti, in Tabella 4.3 è riportato un confronto tra gli input della vecchia versione e gli input della nuova versione.

In totale si passa da 187 input a 144 input con una riduzione di 43 input (-23%).

La nuova versione del foglio di calcolo è allegata in formato Excel a questo documento, come risultato dell'attività di ricerca.

**Tabella 4.3 – Confronto input tra la vecchia versione e la nuova versione del questionario.**

Sezione		Input vecchia versione	Input nuova versione	Diff.
1. DATI GENERALI	1.1 ANAGRAFICA UTENTE	3	3	0
	1.2 UBICAZIONE EDIFICIO	3	4	+1
	1.3 UTILIZZO DELLA CASA	4	4	0
2. CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE	2.1 DATI GENERALI	7	8	+1
	2.2 PIANTE E CONFINI	16	16	0
	2.3 RIEPILOGO DATI GEOMETRICI	0	0	0
	2.4 LAVORI EFFETTUATI SULL'INVOLUCRO EDILIZIO	12	12	0
3. IMPIANTI	3.1 IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	5	5	0
	3.2 IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO	7	7	0
	3.3 IMPIANTO DI PREPARAZIONE DELL'ACQUA CALDA SANITARIA	1	1	0
	3.4 IMPIANTO SOLARE TERMICO (per acqua calda)	4	4	0
	3.5 IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO (per en. elettrica)	3	4	+1
4. ELETTRODOMESTICI	4.1 CUCINA	12	5	-7
	4.2 REFRIGERAZIONE	8	6	-2
	4.3 LAVAGGIO, PULIZIA E STIRATURA	16	16	0
	4.4 ILLUMINAZIONE	4	4	0
	4.5 AUDIO/VIDEO	26	0	-26
	4.6 COMPUTER/INTERNET	9	4	-5
	4.7 CURA DELLA PERSONA	2	2	0
	4.8 ALTRI APPARECCHI	16	12	-4
5. CONSUMI E COSTI ENERGETICI	5.1 ENERGIA ELETTRICA: CONSUMI E SPESA	15	14	-1
	5.2 GAS NATURALE: CONSUMI E SPESA	14	13	-1
TOTALE		187	144	-43

## 5 Conclusioni

Il lavoro si è sviluppato come una prosecuzione delle attività di precedenti annualità di ricerca e ne ha aggiornato i risultati, con semplificazioni volte a facilitare l'attività del compilatore non esperto e con implementazioni volte a completarne le funzionalità.

Nel corso dell'anno il database delle abitazioni è stato arricchito, con aggiunta di 376 nuovi casi reali, arrivando così a 751 casi reali totali (+100%).

Il database è stato analizzato al fine di razionalizzare l'immissione dei dati da parte dell'utente. Ciò ha consentito di ridurre il numero di input da 187 a 144 (-23%).

La simulazione di scenari evolutivi per le abitazioni italiane ha evidenziato la necessità di implementare nuove funzioni. In particolare, avendo osservato che interventi di riqualificazione dell'abitazione hanno implicazioni significative sul potenziale di flessibilità, si è deciso di aggiungere una funzione che dia la possibilità di valutare gli effetti dei più comuni interventi di riqualificazione.

Rimane fuori da questa versione del foglio di calcolo la possibilità di valutare variante aggiuntive alla configurazione dell'abitazione, rappresentate ad esempio dalle più comuni azioni di adattamento ai cambiamenti climatici, quali l'aggiunta di uno o più condizionatori.

Il risultato del lavoro è il foglio di calcolo, nella sua nuova versione, con una riduzione del numero di input e con nuove funzioni per la valutazione del potenziale di aggregabilità di un'utenza di tipo residenziale.

Il foglio di calcolo è immediatamente disponibile su piattaforma Excel e sta per essere reso disponibile anche su piattaforma web.

## 6 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] L. de Santoli, F. Mancini, M. Cecconi - Studio di un modello di qualificazione e validazione dei consumi elettrici e termici di edifici residenziali - Ricerca di Sistema Elettrico – settembre 2018
- [4] Mancini, F.; Lo Basso, G.; De Santoli, L. Energy Use in Residential Buildings: Characterisation for Identifying Flexible Loads by Means of a Questionnaire Survey. *Energies* 2019, Vol. 12, Page 2055 2019, 12, 2055. <https://doi.org/10.3390/en12112055>
- [5] Mancini, F.; Nastasi, B. Energy Retrofitting Effects on the Energy Flexibility of Dwellings. *Energies* 2019, Vol. 12, Page 2788 2019, 12, 2788. <https://doi.org/10.3390/en12142788>
- [6] Mancini, F.; Lo Basso, G.; de Santoli, L. Energy Use in Residential Buildings: Impact of Building Automation Control Systems on Energy Performance and Flexibility. *Energies* 2019, Vol. 12, Page 2896 2019, 12, 2896. <https://doi.org/10.3390/en12152896>
- [7] Mancini; Lo Basso How Climate Change Affects the Building Energy Consumptions Due to Cooling, Heating, and Electricity Demands of Italian Residential Sector. *Energies* 2020, 13, 410. <https://doi.org/10.3390/en13020410>
- [8] Mancini, F.; Nastasi, B. Solar Energy Data Analytics: PV Deployment and Land Use. *Energies* 2020, 13, 417. <https://doi.org/10.3390/en13020417>

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

### 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 DI 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)

### 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.

### Marco Cecconi

Ingegnere elettrico ed elettronico, Dottore di Ricerca in Risparmio energetico e microgenerazione distribuita, libero professionista nel campo degli impianti, delle energie rinnovabili e della gestione razionale dell'energia.

Ricercatore a contratto per l'Università Sapienza, per ENEA e per aziende private (tra cui Avvenia the Energy Innovator gruppo Terna S.p.A.) su tematiche inerenti l'uso razionale dell'energia e sull'implementazione di software per la simulazione energetica dinamica degli edifici.

Docente a contratto dal 2012 al 2017 per l'Università Sapienza e l'Università LUISS Guido Carli, sulle materie di Fisica Tecnica, Impianti, Efficienza energetica, Energie rinnovabili.

Autore di 11 pubblicazioni scientifiche.