



Ricerca di Sistema elettrico

## Analisi dei benefici energetici ottenibili attraverso l'uso dei sistemi di contabilizzazione e ripartizione del calore sul territorio nazionale

M. Dell'Isola, G. Ficco, L. Canale, G. Cortellessa, A. Massimo, P. Vigo

## ANALISI DEI BENEFICI ENERGETICI OTTENIBILI ATTRAVERSO L'UTILIZZO DEI SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE E RIPARTIZIONE DEL CALORE SUL TERRITORIO NAZIONALE

M. Dell'Isola, G. Ficco, L. Canale, G. Cortellessa, A. Massimo, P. Vigo

Settembre 2017

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

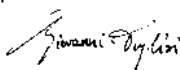
Piano Annuale di Realizzazione 2016

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

Progetto: D1 - Tecnologie per costruire gli edifici del futuro

Obiettivo: A2. Sistemi di metering e controlli innovativi per l'efficienza energetica degli edifici residenziali

Responsabile del Progetto: ing. Giovanni Puglisi, ENEA



Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione nell'ambito della "Sperimentazione e caratterizzazione metrologica dei sistemi di misura per la contabilizzazione e ripartizione del calore"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Biagio Di Pietra



Responsabile scientifico DICeM: Prof. Ing. Marco Dell'Isola



## Indice

|  |    |
|--|----|
| SOMMARIO.....  | 6  |
| 1 INTRODUZIONE.....  | 7  |
| 2 ANALISI SPERIMENTALE E STATISTICA DEI BENEFICI ATTESI DALLA CONTABILIZZAZIONE DEL CALORE SUL TERRITORIO NAZIONALE.....   | 8  |
| 2.1 CAMPAGNA SPERIMENTALE DEI BENEFICI EFFETTIVI CONNESSI ALLA CONTABILIZZAZIONE DEL CALORE SUL TERRITORIO NAZIONALE.....  | 8  |
| 2.1.1 Definizione del campione e attività di monitoraggio.....   | 8  |
| 2.1.2 Risultati sperimentali.....  | 9  |
| 2.2 MESSA A PUNTO DI UN MODELLO PER L'ANALISI DEI CONSUMI EFFETTIVI DEL PATRIMONIO EDILIZIO NAZIONALE.....   | 16 |
| 2.2.1 Analisi statistica delle abitazioni residenziali italiane.....   | 16 |
| 2.2.3 Calibrazione e validazione del modello di calcolo.....   | 22 |
| 2.3 STIMA DEI BENEFICI ENERGETICI POTENZIALI SU SCALA REGIONALE E NAZIONALE OTTENIBILI DALLA CONTABILIZZAZIONE INDIVIDUALE... ..   | 24 |
| 2.4 VALIDAZIONE ED OTTIMIZZAZIONE DEL FOGLIO DI CALCOLO PER L'ANALISI COSTI BENEFICI DELLA CONTABILIZZAZIONE INDIVIDUALE ENEA ED APPLICAZIONE A EDIFICI REALI PER DIVERSE ZONE CLIMATICHE.....                     | 27 |
| 3 ELABORAZIONE E SPERIMENTAZIONE DI INDICI DI EFFICIENZA PER L'ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI CONNESSI AL RISCALDAMENTO DEGLI EDIFICI.....   | 33 |
| 3.1 ELABORAZIONE INDICI DI RISPARMIO ENERGETICO UTILIZZABILI CON I SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE/ RIPARTIZIONE INDIVIDUALE PER POTER STIMARE LA QUANTITÀ E QUALITÀ DEI CONSUMI DELLE SINGOLE UNITÀ IMMOBILIARI..... | 33 |
| 3.2 SPERIMENTAZIONE DEGLI INDICI DI RISPARMIO E ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO DEI CONSUMI INDIVIDUALI DELLA SECONDA ANNUALITÀ PRESSO L'IMPIANTO PILOTA DI CASSINO.....  | 35 |
| 3.2.1 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO PILOTA.....  | 35 |
| 3.2.2 ANALISI SPERIMENTALE DEGLI INDICATORI DI PERFORMANCE ENERGETICA.....   | 40 |
| 3.2.3 ANALISI DELLA SECONDA ANNUALITÀ DEI DATI DI MONITORAGGIO DEI CONSUMI INDIVIDUALI PRESSO L'IMPIANTO SPERIMENTALE DI CASSINO.....  | 47 |
| 4 CONCLUSIONI.....   | 52 |
| 5 BIBLIOGRAFIA.....  | 54 |
| 6 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....   | 56 |

## Indice delle Tabelle

|   |    |
|---|----|
| Tabella 1 - Consumi energetici registrati prima e dopo l'installazione dei sistemi di contabilizzazione .....   | 10 |
| Tabella 2 – Analisi dei consumi di energia negli edifici in cui l'installazione dei sistemi di contabilizzazione è stata effettuata insieme alla sostituzione della caldaia ..... | 13 |
| Tabella 3 - Classi di dimensione degli edifici (incidenza percentuale sul totale delle abitazioni italiane occupate da persone residenti).....                                    | 17 |
| Tabella 4 – Classificazione degli impianti termici in Italia .....  | 19 |
| Tabella 5 – Consumi residenziali e per solo riscaldamento in Italia.....  | 23 |
| Tabella 6 – Consumi calcolati e stimati .....   | 23 |
| Tabella 7 – Costi standard dei componenti dei sistemi di contabilizzazione .....  | 24 |
| Tabella 8 – Risparmio energetico stimato per regione e per approccio .....  | 26 |
| Tabella 9 - Maggiorazione costi.....  | 30 |
| Tabella 10 - Caratteristiche principali dell'edificio pilota investigato .....  | 35 |
| Tabella 11 – Caratteristiche termofisiche degli appartamenti e fabbisogno di energia stimato .....  | 39 |
| Tabella 12 – Scenari di ripartizione in base a consumi effettivi, potenza termica installata e superficie .....   | 39 |
| Tabella 13 - Indici di risparmio globale e parziale nell'edificio pilota di Cassino .....   | 41 |
| Tabella 14 - Analisi degli indici di risparmio locale (AP_1) .....  | 43 |
| Tabella 15 - Analisi degli indici di risparmio locale (AP_2) .....  | 44 |
| Tabella 16 - Analisi degli indici di risparmio locale (AP_3) .....  | 45 |
| Tabella 17 - Analisi degli indici di risparmio locale (AP_4) .....  | 46 |
| Tabella 18 - Consumi complessivi e per periodo I Piano (AP_1 e AP_2) .....  | 47 |
| Tabella 19 - Consumi complessivi e per periodo II Piano (AP_3 e AP_4) .....   | 48 |
| Tabella 20 - Consumi complessivi e per periodo III Piano (AP_5 e AP_6) .....  | 49 |
| Tabella 21 - Analisi degli errori di misura nelle diverse unità immobiliari investigate (scostamenti assoluti)  | 50 |
| Tabella 22: Analisi per piano della ripartizione dei consumi (sistemi omogenei).....  | 50 |
| Tabella 23: Analisi della ripartizione dei consumi II e III Piano (sistemi omogenei).....   | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4 – Variazioni attese dei consumi di energia .....  | 13 |
| Figura 5 – Consumi di energia prima e dopo l’installazione dei sistemi di contabilizzazione e sostituzione della caldaia .....   | 14 |
| Figura 6 – Risparmio di energia dopo un anno dall’installazione dei sistemi di contabilizzazione e sostituzione della caldaia in funzione della classe di consumo energetico dell’edificio ..... | 14 |
| Figura 7 – Regressione lineare applicata ai consumi specifici prima e dopo l’installazione dei sistemi di contabilizzazione e sostituzione della caldaia .....                                   | 15 |
| Figura 8 – Regressione lineare applicata alla stima dei benefici attesi dopo l’installazione dei sistemi di contabilizzazione e sostituzione della caldaia .....                                 | 15 |
| Figura 9 - Trend storici di costruzione delle categorie edilizie - Valori assoluti (Italia) .....  | 17 |
| Figura 10 – Numero di edifici per classe di dimensione edilizia per regione .....  | 18 |
| Figura 11 – Distribuzione degli edifici residenziali per numero di piani fuori terra per regione .....   | 18 |
| Figura 12 - Distribuzione delle tipologie di Impianto Termico in Italia .....  | 19 |
| Figura 13 – Distribuzione per regione degli impianti centralizzati .....   | 20 |
| Figura 14 – Matrice delle tipologie edilizie .....   | 21 |
| Figura 15 – Andamento del valore di $EP_{H,min}$ al variare dell’incentivo fiscale applicabile .....   | 25 |
| Figura 16 – Foglio di istruzioni .....   | 27 |
| Figura 17 - Caratteristiche di edificio ed impianto e prima valutazione della fattibilità tecnica .....  | 28 |
| Figura 18 - Caratteristiche specifiche di impianto per la valutazione dell’intervento di installazione HM ....   | 29 |
| Figura 19 - Inserimento dei costi di intervento .....  | 30 |
| Figura 20 - Inserimento del beneficio atteso .....   | 31 |
| Figura 21 - Analisi di fattibilità economica .....   | 31 |
| Figura 22 - Stampa certificato .....   | 32 |
| Figura 23 – Schema dell’edificio investigato e schema di installazione .....   | 35 |
| Figura 24 - Planimetria Piano Primo (AP_1 e AP_2) .....  | 36 |
| Figura 25: Planimetria Piano Secondo (AP_3 e AP_4) .....   | 37 |
| Figura 26: Planimetria Piano terzo (AP_5 e AP_6) .....   | 38 |
| Figura 27 – Andamento della ripartizione in base a consumi effettivi, potenza termica installata, superficie e fabbisogno termico in Asset Rating .....  | 40 |
| Figura 28 - Andamento degli indici di risparmio parziale e globale nell’edificio pilota di Cassino .....   | 41 |
| Figura 29 – Andamento degli indici di risparmio parziale (AP_1 e AP_2) e globale (edificio) .....  | 42 |
| Figura 30 – Andamento degli indici di risparmio parziale (AP_3 e AP_4) e globale (edificio) .....  | 42 |
| Figura 31 – Andamento degli indici di risparmio parziale (AP_5 e AP_6) e globale (edificio) .....  | 42 |
| Figura 32 - Ripartizione dei consumi e del risparmio negli ambienti (AP_1) .....   | 43 |
| Figura 33 - Ripartizione dei consumi e del risparmio negli ambienti (AP_2) .....   | 44 |
| Figura 34 - Ripartizione dei consumi e del risparmio negli ambienti (AP_3) .....   | 45 |
| Figura 35 - Ripartizione dei consumi e del risparmio negli ambienti (AP_4) .....   | 46 |

## Sommario

Il presente rapporto *“Analisi dei benefici energetici ottenibili attraverso l'utilizzo dei sistemi di contabilizzazione e ripartizione del calore sul territorio nazionale”* descrive le attività di ricerca svolte ed i risultati ottenuti nell'ambito dall'accordo di collaborazione tra ENEA e DICEM (Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica) dell'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale.

Nello specifico, l'attività oggetto della ricerca ha riguardato l'impatto della contabilizzazione dell'energia termica in termini di benefici attesi sul territorio nazionale nell'ambito di edifici condominiali o polifunzionali, resa obbligatoria dall'art.9 del DL 102/2014 al 31 Dicembre 2016. Nell'ambito del progetto di ricerca è stato inoltre effettuata un'analisi degli indici di risparmio dei consumi energetici per riscaldamento su un edificio pilota.

Gli autori ritengono che i risultati presentati in questo documento possono essere utili per definire e supportare le politiche nazionali da adottare per la diffusione e l'uso efficace dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione. In particolare, le attività di ricerca condotte hanno consentito di evidenziare l'impatto della contabilizzazione e termoregolazione sia sul territorio nazionale che nell'ambito delle singole regioni italiane. Inoltre, l'analisi sperimentale su 50 edifici collocati in diverse regioni e zone climatiche consente di fornire ai progettisti un riferimento nazionale relativamente al beneficio atteso da utilizzare nelle analisi di fattibilità economica. L'applicazione del modello ha consentito di stimare un potenziale risparmio energetico connesso all'installazione dei sistemi di contabilizzazione e termoregolazione negli edifici residenziali in Italia compreso tra 0,072 e 0,410 Mtoe/anno (i.e. tra 0,3 e 1,9% dei consumi per riscaldamento) ed un beneficio economico medio pari all'11% del consumo energetico per riscaldamento.

Ulteriori interessanti risultati derivano dall'analisi delle potenzialità e criticità dei sistemi di contabilizzazione effettuata nel secondo anno di sperimentazione sull'edificio pilota di Cassino, da cui si rileva che è possibile utilizzare i sistemi di contabilizzazione indiretta per valutare puntualmente i consumi energetici attraverso l'uso di indici di risparmio globali (sull'intero edificio), parziali (sui singoli appartamenti) e locali (nei singoli ambienti) al fine di rendere maggiormente consapevoli gli utenti finali. L'analisi degli indici di risparmio applicata all'edificio pilota di Cassino ha mostrato l'efficacia del monitoraggio dei consumi consentendo l'individuazione delle criticità in termini di sovraconsumi energetici e nel contempo di individuare gli appartamenti e i locali maggiormente energivori. Infine, sono stati riscontrati alcuni problemi di affidabilità in campo (decadimento delle batterie e necessità di riprogrammazione/sostituzione) per i ripartitori di calore installati in due degli appartamenti investigati. Ciò conferma la necessità di procedere a verifiche periodiche ed alla definizione ed implementazione di idonee politiche di tutela dell'utenza.

## 1 Introduzione

Malgrado esistano in letteratura numerosi lavori scientifici sulla valutazione del beneficio connesso alla contabilizzazione del calore in climi continentali, non esistono né campagne sperimentali estensive a lungo termine, né studi riguardanti la quantificazione empirica del beneficio ottenibile in Italia, paese dal clima prevalentemente mediterraneo e caratterizzato da una diversa connotazione costruttiva del parco edilizio. Di conseguenza, non è possibile quantificare con adeguata accuratezza l'impatto dell'obbligo di installazione di sistemi di contabilizzazione e termoregolazione introdotto dal D.lgs. 102/2014 e s.m.i. sui consumi energetici del patrimonio edilizio nazionale.

Nel presente progetto di ricerca, grazie anche alla collaborazione di alcuni studi di ingegneria per il reperimento di dati sperimentali relativi alla variazione dei consumi energetici in edifici sottoposti all'installazione di sistemi di contabilizzazione e termoregolazione, sono stati analizzati i consumi energetici di circa 50 edifici per un totale di 3047 appartamenti, nei quali erano stati installati sistemi indiretti di contabilizzazione con ripartitori di calore e valvole termostatiche su ciascun radiatore. Gli edifici investigati sono situati nelle 3 regioni a più alta percentuale di diffusione di impianti centralizzati e nelle 2 zone climatiche più diffuse sul territorio italiano, E e D.

La ricerca condotta dall'Università di Cassino per conto di ENEA è consistita in due linee principali: 1) la valutazione sperimentale dei benefici attesi dall'introduzione dell'obbligo della contabilizzazione del calore negli edifici serviti da fonte di riscaldamento centralizzata; 2) la definizione di opportuni indici di risparmio dei consumi energetici per riscaldamento.

In particolare, per la prima linea di ricerca sono state sviluppate le seguenti attività:

1. esecuzione di una campagna sperimentale estesa dei benefici effettivi connessi alla contabilizzazione del calore sul territorio nazionale;
2. sviluppo di un modello per l'analisi statistica dei consumi effettivi del patrimonio edilizio nazionale;
3. stima dei benefici energetici potenziali su scala regionale e nazionale derivanti dall'introduzione dei sistemi di contabilizzazione individuale e di termoregolazione;
4. ottimizzazione e validazione del foglio di calcolo ENEA-DICEM per l'analisi costi-benefici dei sistemi di contabilizzazione individuale ed applicazione a edifici reali per diverse zone climatiche.

Per la seconda linea di ricerca le attività sviluppate sono state:

1. l'elaborazione di indici di risparmio energetico;
2. la sperimentazione degli indici e l'analisi dei dati di monitoraggio dei consumi individuali presso l'impianto sperimentale di Cassino (analisi delle criticità riscontrate nel secondo anno).

## 2 Analisi sperimentale e statistica dei benefici attesi dalla contabilizzazione del calore sul territorio nazionale

### 2.1 Campagna sperimentale dei benefici effettivi connessi alla contabilizzazione del calore sul territorio nazionale

Malgrado esistano in letteratura numerosi studi sul risparmio di energia connesso alla introduzione dei sistemi di contabilizzazione del calore e di termoregolazione in climi continentali, non esistono né campagne sperimentali estensive a lungo termine, né studi riguardanti la quantificazione sperimentale di tale risparmio nei paesi con clima mediterraneo e per le tipologie costruttive tipiche dei paesi del Sud Europa.

A tal fine, l'Università di Cassino ed ENEA, con la collaborazione di alcuni professionisti termotecnici, hanno analizzato i dati relativi alla variazione dei consumi energetici in un numero consistente di edifici in cui era stata effettuata l'installazione di sistemi di contabilizzazione del calore e di termoregolazione.

A valle della campagna sperimentale è stato possibile:

- stimare il beneficio medio nazionale direttamente connesso alla contabilizzazione individuale del calore;
- individuare le principali criticità nella previsione del beneficio energetico atteso;
- osservare la variabilità nel tempo del beneficio energetico atteso;
- studiare l'effetto combinato dell'installazione dei sistemi di contabilizzazione e termoregolazione insieme alla sostituzione della caldaia con una ad elevata efficienza energetica.

#### 2.1.1 Definizione del campione e attività di monitoraggio

La campagna sperimentale DiCEM-ENEA ha riguardato 3047 appartamenti in 50 edifici. Per la definizione di un campione rappresentativo del parco edilizio potenzialmente soggetto all'obbligo di installare sistemi di contabilizzazione individuale e termoregolazione, sono state valutate:

- le caratteristiche costruttive: gli edifici analizzati sono alimentati da impianto di riscaldamento centralizzato a gas metano;
- la regione di appartenenza: gli edifici investigati sono situati nelle 3 regioni a più alta percentuale di diffusione di impianti centralizzati (i.e. Piemonte, Lombardia e Lazio). Infatti, circa il 55% delle abitazioni potenzialmente soggette all'obbligo di installare i sistemi di contabilizzazione e termoregolazione si trovano in queste regioni;
- le condizioni climatiche di riferimento: gli edifici sono situati nelle 2 zone climatiche più diffuse sul territorio italiano, zone E e D (rispettivamente circa il 50% e il 20% dei comuni italiani appartengono a queste zone climatiche).

Sebbene la normativa attualmente in vigore dia priorità all'installazione di sistemi di contabilizzazione diretta, le caratteristiche costruttive del parco edilizio italiano potenzialmente soggetto all'obbligo rendono elevata la probabilità che l'installazione di contatori diretti sia tecnicamente non possibile o economicamente svantaggiosa [1]. Per questo motivo, nell'ambito della campagna sperimentale della

presente ricerca, si è scelto di analizzare il beneficio conseguente all'installazione di sistemi di contabilizzazione indiretta e di termoregolazione.

Nelle abitazioni investigate erano stati installati sistemi di contabilizzazione indiretta con Ripartitori di Calore (HCA) e valvole termostatiche su ciascun radiatore. Sono stati quindi acquisiti i dati relativi ai consumi di energia relativi ad almeno 2 stagioni complete di riscaldamento (quella prima e quella dopo l'installazione dei sistemi di contabilizzazione e termoregolazione). Per alcuni edifici, erano disponibili anche i dati di consumo per la seconda stagione di riscaldamento dopo l'installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione, e questo ha consentito di valutare la variabilità e la persistenza del beneficio nel tempo. Per ciascuna stagione di riscaldamento, è stata acquisita anche la temperatura esterna media giornaliera, con lo scopo di normalizzare il consumo di energia rispetto ai Gradi Giorno effettivi (GG).

In tredici edifici del campione analizzato, l'installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione è stata effettuata contemporaneamente alla sostituzione della caldaia esistente con una ad elevata efficienza. Anche se la presente analisi riguarda gli effetti della sola installazione dei sistemi di contabilizzazione e termoregolazione, è stata analizzata anche la riduzione del consumo energetico di questi edifici, al fine di consentire una migliore comprensione dei possibili benefici conseguibili dall'effetto combinato di diversi interventi di efficientamento energetico.

### 2.1.2 Risultati sperimentali

In Tabella 1 sono riportati i consumi energetici registrati prima e dopo l'installazione dei soli sistemi di contabilizzazione e termoregolazione. Per tener conto della variabilità climatica annuale, i consumi energetici sono stati normalizzati rispetto ai GG effettivi, disponibili per ciascuna stagione di riscaldamento analizzata. Le ultime due colonne si riferiscono, rispettivamente, alla variazione percentuale dei consumi energetici registrata un anno dopo l'installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione, e l'ulteriore variazione registrata due anni dopo l'installazione, quando disponibile.

**Tabella 1 - Consumi energetici registrati prima e dopo l'installazione dei sistemi di contabilizzazione**

| Regione                 | Num. app. | Consumi prima [kWh/K] | GG [K] | Consumi 1 anno [kWh/K] | GG [K] | Consumi 2 anni [kWh/K] | GG [K] | Var. 1 anno [%] | Var. 2 anni* [%] | Var. media |             |
|-------------------------|-----------|-----------------------|--------|------------------------|--------|------------------------|--------|-----------------|------------------|------------|-------------|
|                         |           |                       |        |                        |        |                        |        |                 |                  | 1 anno [%] | 2 anni* [%] |
| Piemonte                | 105       | 280.81                | 2501   | 293.01                 | 2297   | 292.67                 | 2281   | 4.4%            | -0,1%            | -5.5%      | -2.3%       |
|                         | 48        | 144.96                | 2119   | 146.64                 | 2199   | n/a                    | n/a    | 1.2%            | n/a              |            |             |
|                         | 36        | 100.52                | 2119   | 76.42                  | 2199   | n/a                    | n/a    | -24.0 %         | n/a              |            |             |
|                         | 21        | 62.88                 | 2119   | 52.07                  | 2199   | n/a                    | n/a    | -17.2%          | n/a              |            |             |
|                         | 30        | 86.42                 | 2297   | 78.81                  | 2356   | 77.01                  | 2424   | -8.8%           | -2,1%            |            |             |
|                         | 40        | 55.86                 | 2501   | 64.67                  | 2356   | 63.29                  | 2424   | 15.8%           | -2,5%            |            |             |
|                         | 24        | 82.26                 | 2297   | 70.79                  | 2356   | 68.26                  | 2424   | -13.9%          | -3,1%            |            |             |
| Lazio                   | 68        | 221.45                | 2424   | 195.82                 | 2501   | 185.11                 | 2297   | -11.6%          | -4,3%            | -17.1%     | n/a         |
|                         | 58        | 256.04                | 1408   | 217.90                 | 1476   | n/a                    | n/a    | -14.9%          | n/a              |            |             |
|                         | 36        | 104.29                | 1565   | 83.74                  | 1579   | n/a                    | n/a    | -19.7%          | n/a              |            |             |
|                         | 21        | 141.32                | 1716   | 116.75                 | 1579   | n/a                    | n/a    | -17.4%          | n/a              |            |             |
| Lombardia               | 54        | 248.00                | 1565   | 202.77                 | 1579   | n/a                    | n/a    | -18.2%          | n/a              | -3.4%      | n/a         |
|                         | 50        | 153.73                | 1899   | 153.68                 | 1906   | n/a                    | n/a    | -0.0%           | n/a              |            |             |
|                         | 650       | 1941.98               | 1899   | 1866.57                | 1906   | n/a                    | n/a    | -3.9%           | n/a              |            |             |
|                         | 110       | 331.95                | 1899   | 351.21                 | 1906   | n/a                    | n/a    | 5.8%            | n/a              |            |             |
|                         | 45        | 180.87                | 1899   | 143.05                 | 1906   | n/a                    | n/a    | -20.9%          | n/a              |            |             |
|                         | 240       | 727.80                | 1899   | 740.43                 | 1906   | n/a                    | n/a    | 1.7%            | n/a              |            |             |
|                         | 20        | 79.78                 | 1899   | 73.35                  | 1906   | n/a                    | n/a    | -8.1%           | n/a              |            |             |
|                         | 25        | 73.77                 | 1899   | 73.28                  | 1906   | n/a                    | n/a    | -0.7%           | n/a              |            |             |
|                         | 25        | 100.22                | 1899   | 89.56                  | 1906   | n/a                    | n/a    | -10.6%          | n/a              |            |             |
|                         | 70        | 222.30                | 1899   | 214.74                 | 1906   | n/a                    | n/a    | -3.4%           | n/a              |            |             |
|                         | 30        | 101.48                | 1899   | 96.19                  | 1906   | n/a                    | n/a    | -5.2%           | n/a              |            |             |
|                         | 20        | 61.10                 | 1899   | 60.66                  | 1906   | n/a                    | n/a    | -0.7%           | n/a              |            |             |
|                         | 40        | 132.43                | 1899   | 126.81                 | 1906   | n/a                    | n/a    | -4.2%           | n/a              |            |             |
|                         | 50        | 155.53                | 1899   | 154.65                 | 1906   | n/a                    | n/a    | -0.6%           | n/a              |            |             |
|                         | 70        | 227.79                | 1899   | 221.98                 | 1906   | n/a                    | n/a    | -2.6%           | n/a              |            |             |
|                         | 60        | 194.67                | 1899   | 211.78                 | 1906   | n/a                    | n/a    | 8.8%            | n/a              |            |             |
|                         | 40        | 112.44                | 1899   | 123.57                 | 1906   | n/a                    | n/a    | 9.9%            | n/a              |            |             |
|                         | 40        | 121.92                | 1899   | 120.33                 | 1906   | n/a                    | n/a    | -1.3%           | n/a              |            |             |
|                         | 60        | 189.82                | 1899   | 187.87                 | 1906   | n/a                    | n/a    | -1.0%           | n/a              |            |             |
|                         | 40        | 108.18                | 1899   | 108.13                 | 1906   | n/a                    | n/a    | -0.0%           | n/a              |            |             |
| 90                      | 320.08    | 1899                  | 299.40 | 1906                   | n/a    | n/a                    | -6.5%  | n/a             |                  |            |             |
| 90                      | 345.43    | 1899                  | 310.53 | 1906                   | n/a    | n/a                    | -10.1% | n/a             |                  |            |             |
| 40                      | 118.72    | 1899                  | 112.85 | 1906                   | n/a    | n/a                    | -5.0 % | n/a             |                  |            |             |
| 40                      | 124.06    | 1899                  | 117.55 | 1906                   | n/a    | n/a                    | -5.3%  | n/a             |                  |            |             |
| 15                      | 51.08     | 1899                  | 49.46  | 1906                   | n/a    | n/a                    | -3.2%  | n/a             |                  |            |             |
| 70                      | 273.35    | 1899                  | 220.72 | 1906                   | n/a    | n/a                    | -19.3% | n/a             |                  |            |             |
| Risparmio medio annuale |           |                       |        |                        |        |                        |        |                 |                  | -8.7%      | -2.3%       |

\* variazione aggiuntiva riferita alla differenza tra i consumi di energia 1 e 2 anni dopo l'installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione

La maggior parte degli edifici investigati ha mostrato una riduzione del consumo di energia per riscaldamento dopo l'installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione. Dai dati in tabella si evince che la variabilità del beneficio energetico è elevata. Infatti, solo 17 edifici hanno registrato un elevato risparmio energetico (tra il 5 e il 24%), mentre in 13 edifici la riduzione dei consumi è stata inferiore (da 0 a 5%). In 7 edifici si è addirittura verificato un aumento dei consumi energetici (fino al 15% nel caso peggiore). Si ritiene che l'elevata variabilità del beneficio dipenda dal tipo e dalla configurazione del sistema di contabilizzazione installato, dalle condizioni operative effettive dell'impianto di riscaldamento, dal tipo di feedback e dal livello di consapevolezza degli utenti circa il funzionamento di tali sistemi.

I risultati ottenuti sono schematizzati in Figura 1 e Figura 2. In particolare, mentre la Figura 1 mostra la riduzione del consumo energetico nel tempo, la Figura 2 evidenzia che i dati di risparmio energetico provenienti da edifici con alto consumo energetico sono più affidabili di quelli con consumo più basso, in quanto la dispersione dei dati si riduce per "classi di consumo energetico dell'edificio" più elevate.

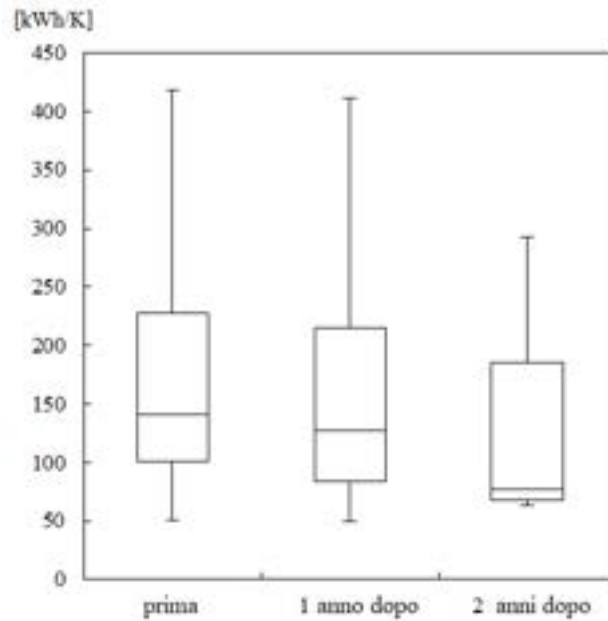


Figura 1 – Consumi energetici prima e dopo l’installazione dei sistemi di contabilizzazione

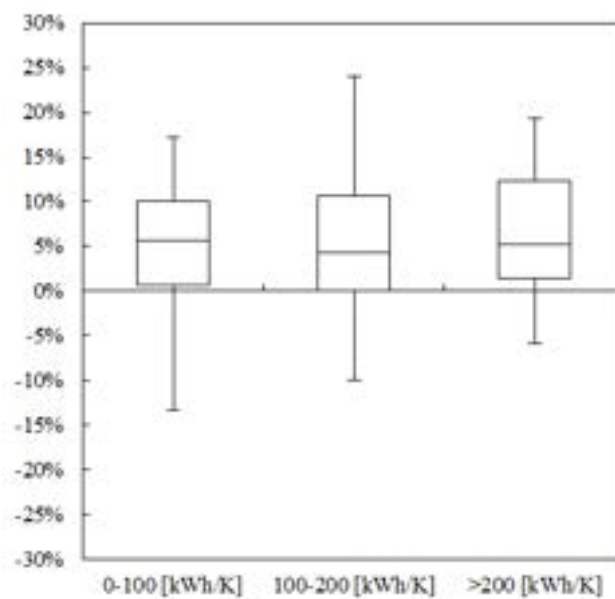


Figura 2 – Risparmio energetico atteso in funzione della classe di consumo energetico dell’edificio

Nei cinque edifici in cui erano disponibili anche i dati di consumo di energia dopo due anni dall'installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione, tutti nella regione Piemonte, è stato osservato un ulteriore beneficio di circa il 2,3%. Questo effetto è descritto anche nella letteratura scientifica [2, 3], anche se dai risultati della presente campagna sperimentale l'entità di questo incremento appare limitata. Si ritiene comunque che questo risultato possa essere esteso anche agli altri edifici studiati (i.e. in Lombardia e Lazio).

Per quanto sopra descritto e in relazione ai dati in Tabella 1, si stima che il beneficio energetico medio atteso dall'installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione sul territorio italiano sia circa pari a 11%. Questo valore è stato ottenuto sommando il beneficio medio osservato nelle tre regioni dopo un anno (i.e. 8,7%) e quello aggiuntivo dopo due anni (i.e. 2,3%).

I dati relativi al consumo energetico sono stati successivamente normalizzati rispetto al numero di appartamenti nell'edificio, per un'analisi dei consumi specifici per appartamento. La Figura 3 mostra in particolare la correlazione lineare tra il consumo specifico di energia prima e dopo l'installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione. Nella figura, la linea bisettrice rappresenta il luogo di punti in cui non è stata registrata alcuna variazione di consumo energetico dopo l'installazione di sistemi di contabilizzazione e termoregolazione, mentre le aree inferiori e superiori rappresentano le regioni in cui i consumi energetici dopo l'installazione sono, rispettivamente, diminuiti ed aumentati. La figura mostra inoltre che gli edifici ad alto consumo energetico sembrano ottenere un maggiore vantaggio dall'installazione dei sistemi di contabilizzazione e termoregolazione.

In Figura 4, la curva di regressione tra il consumo specifico di energia per appartamento prima e dopo l'installazione è stata utilizzata per determinare il beneficio energetico atteso come funzione del consumo specifico dell'edificio prima dell'installazione dei sistemi di contabilizzazione e termoregolazione. Dall'analisi si evince che il beneficio atteso risulta trascurabile per gli edifici a basso consumo specifico, mentre tende ad un valore costante per edifici a consumo energetico più elevato. Entrambe le curve rappresentative del beneficio atteso ad uno e due anni dall'installazione mostrano lo stesso trend, con uno shift abbastanza costante.

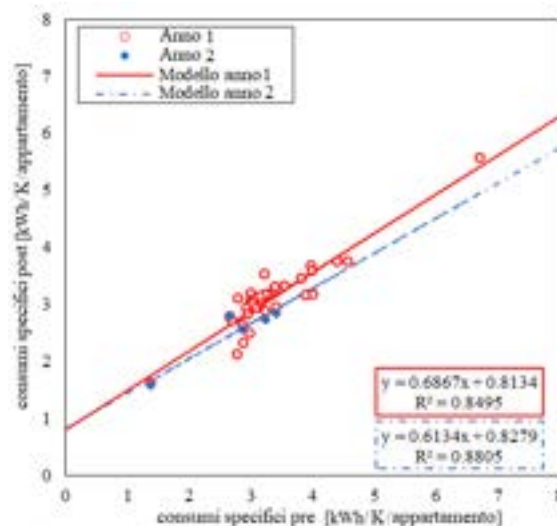


Figura 3 – Curva di Regressione dei consumi di energia specifici

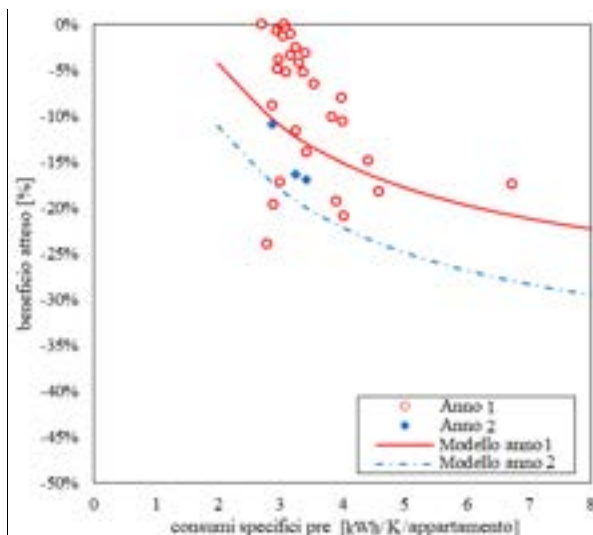


Figura 4 – Variazioni attese dei consumi di energia

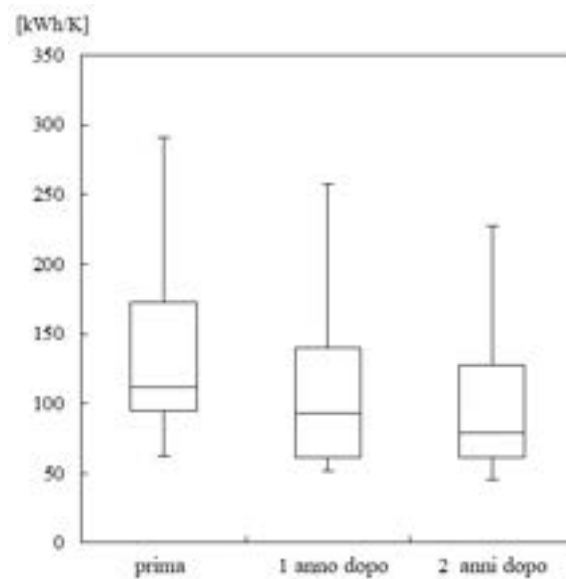
La stessa analisi è stata estesa ai 13 edifici, tutti nella regione Piemonte, in cui i sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione sono stati installati contemporaneamente alla sostituzione della vecchia caldaia con una ad alta efficienza. Per questi edifici è stato registrato un beneficio più significativo, variabile in un range tra 15% e 35%; nessuno degli edifici, inoltre, ha registrato un aumento dei consumi energetici. La Tabella 2 mostra che il beneficio annuo medio per questi edifici è stato pari a circa 24,3% un anno dopo l'intervento di retrofit e circa 5,7% due anni dopo l'intervento di retrofit. In questo caso, sebbene ci sia l'influenza reciproca dei due interventi di efficientamento energetico, assumendo variazioni trascurabili della efficienza della caldaia nei primi anni di funzionamento, è ragionevole attribuire l'incremento del risparmio energetico registrato tra il primo e il secondo anno al solo effetto dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione.

Tabella 2 – Analisi dei consumi di energia negli edifici in cui l'installazione dei sistemi di contabilizzazione è stata effettuata insieme alla sostituzione della caldaia

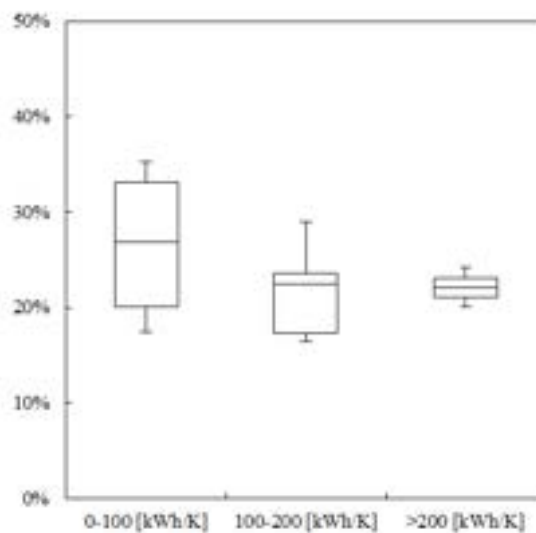
| Numero di appartamenti  | Consumi precedenti [kWh/K] | GG [K] | Consumi normalizzati dopo 1 anno [kWh/K] | GG [K] | Consumi normalizzati dopo 2 anni [kWh/K] | GG [K] | Variazione dopo 1 anno [%] | Variazione ulteriore dopo 2 anni [%] |
|-------------------------|----------------------------|--------|--|--------|--|--------|----------------------------|--------------------------------------|
| 30                      | 111.80                     | 2297   | 93.44                                    | 2356   | 81.15                                    | 2424   | -16.4%                     | -11.0%                               |
| 52                      | 211.74                     | 2501   | 160.59                                   | 2297   | 178.70                                   | 2281   | -24.2%                     | 8.6%                                 |
| 13                      | 68.12                      | 2297   | 55.56                                    | 2356   | 45.13                                    | 2424   | -18.4%                     | -15.3%                               |
| 13                      | 62.40                      | 2424   | 51.52                                    | 2101   | 57.18                                    | 2119   | -17.4%                     | 9.1%                                 |
| 21                      | 99.70                      | 2297   | 74.84                                    | 2356   | 66.86                                    | 2424   | -24.9%                     | -8.0%                                |
| 140                     | 403.22                     | 2297   | 322.36                                   | 2356   | 288.02                                   | 2424   | -20.1%                     | -8.5%                                |
| 20                      | 125.26                     | 2297   | 95.69                                    | 2356   | 79.15                                    | 2424   | -23.6%                     | -13.2%                               |
| 50                      | 172.83                     | 2356   | 122.84                                   | 2424   | 100.18                                   | 2424   | -28.9%                     | -13.1%                               |
| 40                      | 170.76                     | 2297   | 141.10                                   | 2356   | 127.65                                   | 2424   | -17.4%                     | -7.9%                                |
| 18                      | 94.40                      | 2424   | 61.09                                    | 2501   | 61.47                                    | 2297   | -35.3%                     | 0.4%                                 |
| 40                      | 180.38                     | 2297   | 139.91                                   | 2356   | 130.36                                   | 2424   | -22.4%                     | -5.3%                                |
| 18                      | 95.76                      | 2297   | 62.58                                    | 2356   | 54.05                                    | 2424   | -34.7%                     | -8.9%                                |
| 21                      | 86.27                      | 2297   | 61.49                                    | 2356   | 62.61                                    | 2424   | -28.7%                     | 1.3%                                 |
| <b>Variazione media</b> |                            |        |  |        |  |        | -24.3%                     | -5.6%                                |

La Figura 5 evidenzia inoltre che i dati relativi al consumo energetico due anni dopo l'intervento di retrofit sono più affidabili di quelli precedenti, vista la minore dispersione dei dati. Inoltre, riferendosi al

box plot in Figura 6, si conferma che la dispersione dei dati è più bassa per gli edifici a più alto consumo di energia.



**Figura 5 – Consumi di energia prima e dopo l’installazione dei sistemi di contabilizzazione e sostituzione della caldaia**



**Figura 6 – Risparmio di energia dopo un anno dall’installazione dei sistemi di contabilizzazione e sostituzione della caldaia in funzione della classe di consumo energetico dell’edificio**

La Figura 7 e la Figura 8, infine, mostrano trend analoghi a quelli trovati negli edifici in cui è stata eseguita solo l’installazione dei sistemi di contabilizzazione e termoregolazione, sebbene con benefici specifici e dispersione dei dati significativamente più elevati.

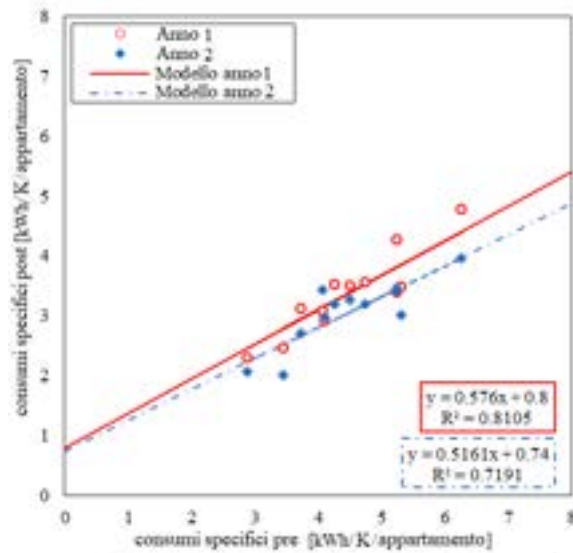


Figura 7 – Regressione lineare applicata ai consumi specifici prima e dopo l’installazione dei sistemi di contabilizzazione e sostituzione della caldaia

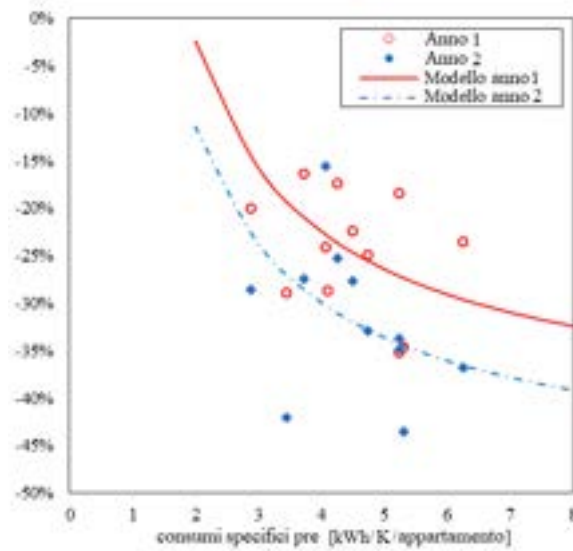


Figura 8 – Regressione lineare applicata alla stima dei benefici attesi dopo l’installazione dei sistemi di contabilizzazione e sostituzione della caldaia

## 2.2 Messa a punto di un modello per l'analisi dei consumi effettivi del patrimonio edilizio nazionale

Nel presente paragrafo si descrive il modello per la stima dei consumi energetici per riscaldamento del settore residenziale italiano, messo a punto nell'ambito della presente ricerca per consentire una valutazione globale del beneficio derivante dall'installazione di sistemi di contabilizzazione negli edifici soggetti all'obbligo di legge di cui al Decreto Legislativo 102/2014 3 s.m.i..

Per stimare il consumo energetico per il riscaldamento del patrimonio edilizio residenziale, è stato sviluppato un modello di calcolo basato sulla classificazione del parco edilizio italiano in "edifici tipo" [4, 5, 6]. Lo schema di modellazione ha seguito 4 fasi successive:

1. Nella fase 1, sulla base dei dati dell'ultimo "Censimento della Popolazione e delle abitazioni" (ISTAT, 2011 [7]) è stata eseguita una prima classificazione delle tipologie di edifici nazionali, in funzione della categoria di edifici e dell'epoca di costruzione. Ciò ha richiesto un'analisi preliminare del parco edilizio italiano sia su base nazionale che su base regionale. In questa fase sono state individuate le principali caratteristiche geometriche degli edifici (vale a dire il numero di piani, la superficie utile, l'altezza interpiano etc.) nonché le tipologie prevalenti di impianto di riscaldamento (centralizzato, indipendente etc.).
2. La fase 2 ha riguardato la caratterizzazione dei diversi tipi di edifici, mediante l'assegnazione di una forma, di rendimenti di impianto e di sistema e di valori di trasmittanza termica "di primo tentativo" reperibili nella letteratura scientifica esistente. In questo modo è stata sviluppata una Matrice delle Tipologie Edilizie italiane. Quest'ultima è stata replicata per ciascuna regione italiana, ed adattata alla stessa attraverso l'individuazione delle principali caratteristiche di ciascun parco edilizio regionale, derivate dalle banche dati statistiche italiane ed europee.
3. Nella fase 3 è stata eseguita la calibrazione dei parametri termo-fisici di primo tentativo, al fine di ottenere una corrispondenza tra i dati di consumo energetico stimati e reali. Questi ultimi sono stati ottenuti per ogni regione utilizzando i Bilanci Energetici Regionali (REB) forniti da ENEA e dalle banche dati europee [8, 9]
4. Nella fase 4 è stato determinato il potenziale risparmio energetico, nazionale e regionale, in applicazione dei diversi scenari di incentivazione fiscale, sia in condizioni di asset rating (AR) che di operational rating (OR). L'analisi è stata condotta anche attraverso un'analisi di fattibilità economica sulle tipologie edilizie nazionali.

### 2.2.1 Analisi statistica delle abitazioni residenziali italiane

Nel 2011, in Italia sono state censite 31,138,278 abitazioni. Circa il 22% degli alloggi italiani censiti non è abitato, mentre risulta occupato esclusivamente da persone non residenti lo 0.001% degli alloggi. Tale categoria è stata ritenuta trascurabile ai fini della presente analisi.

Con esclusivo riferimento agli alloggi occupati da persone residenti, le abitazioni italiane censite nel 2011 sono equamente distribuite in 6 classi di dimensione edilizia, individuate dall'ISTAT come segue:

- edifici monofamiliari (i.e. 1 alloggio);
- edifici bifamiliari (i.e. 2 alloggi);

- edifici multifamiliari (i.e. 3-4 alloggi, 5-8 alloggi, 9-15 alloggi e >16 alloggi)

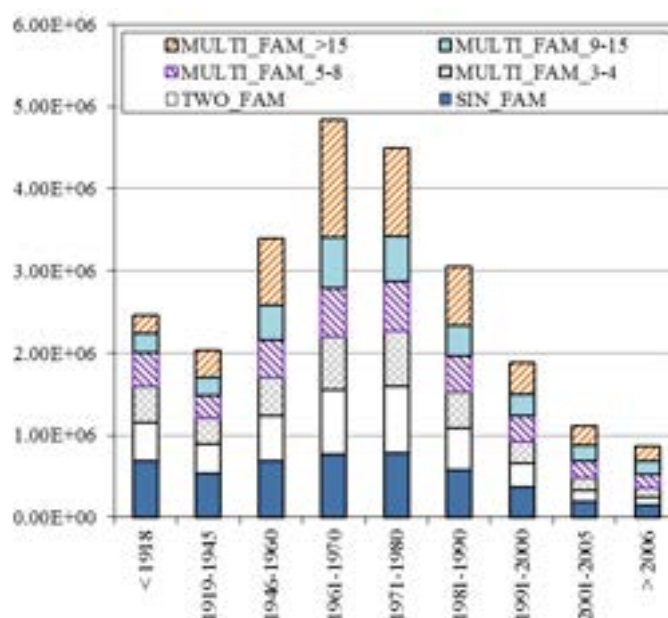
La distribuzione delle singole categorie edilizie è riportata in Tabella 3.

**Tabella 3 - Classi di dimensione degli edifici (incidenza percentuale sul totale delle abitazioni italiane occupate da persone residenti)**

|                        | Simbolo     | Appartamenti nell'edificio | Assoluti   | Percentuali |
|------------------------|-------------|----------------------------|------------|-------------|
| Monofamiliare          | (SIN_FAM)   | 1                          | 4,688,972  | 19%         |
| Bifamiliare            | (TWO_FAM)   | 2                          | 3,995,081  | 17%         |
| Multifamiliare         | (MULTI_FAM) | 3-4                        | 3,518,114  | 15%         |
| Multifamiliare         |             | 5-8                        | 3,443,130  | 14%         |
| Multifamiliare         |             | 9-15                       | 3,044,095  | 13%         |
| Blocco di appartamenti |             | 16 e più                   | 5,375,902  | 22%         |
|                        |             |                            | 24,065,294 | 100%        |

Analogamente, si introduce la classificazione degli edifici in 9 epoche costruttive: prima del 1918; tra il 1919 ed il 1945; tra il 1946 ed il 1960; tra il 1961 ed il 1970; tra il 1971 ed il 1980; tra il 1981 ed il 1990; tra il 1991 ed il 2000; tra il 2001 ed il 2005; dopo il 2006.

Il 45% circa degli alloggi italiani rientra nella categoria di edificio multifamiliare a medio - basso numero di unità abitative (i.e. abitazioni in edifici da 3 a 15 unità), mentre la restante quota parte si divide equamente (in percentuali vicine al 20% per categoria) tra le restanti tipologie (mono/bifamiliare, blocco di appartamenti). Congruentemente all'evoluzione storica del Paese, il grafico in Figura 9 mostra un picco di costruzioni risalenti all'immediato dopoguerra (periodo tra il 1946 ed il 1970).



**Figura 9 - Trend storici di costruzione delle categorie edilizie - Valori assoluti (Italia)**

Le Figura 10 e Figura 11, rispettivamente, mostrano su base regionale la distribuzione delle tipologie edilizie individuate e l'incidenza degli edifici per numero di piani fuori terra.

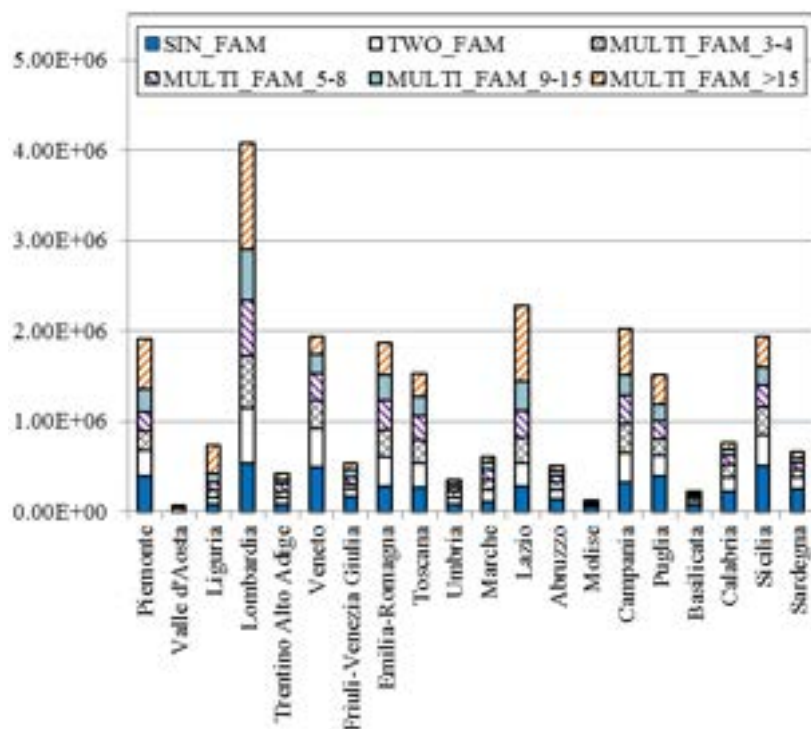


Figura 10 – Numero di edifici per classe di dimensione edilizia per regione

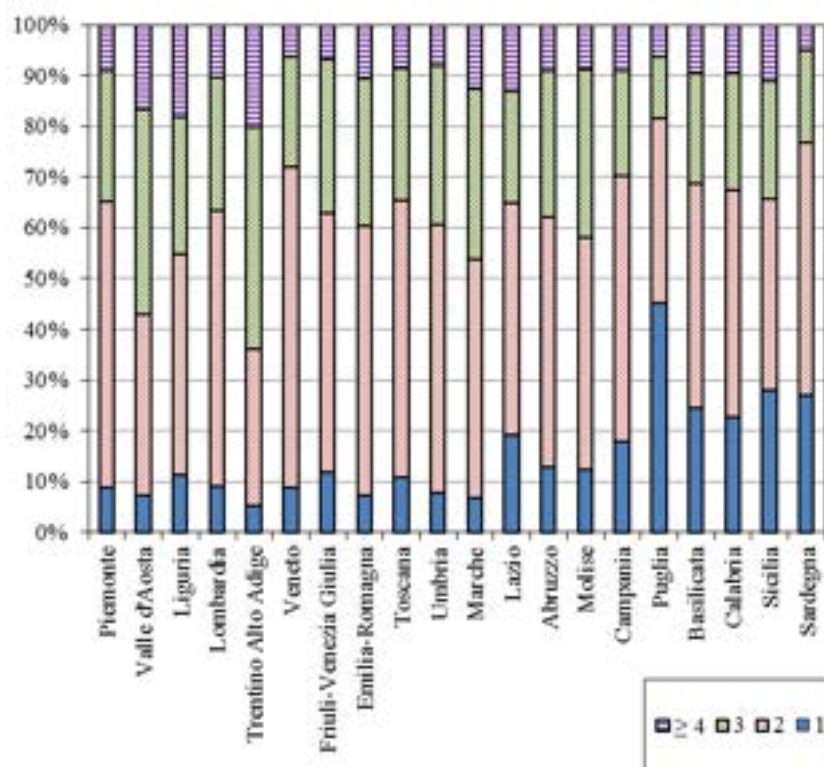


Figura 11 – Distribuzione degli edifici residenziali per numero di piani fuori terra per regione

Relativamente alla tipologia di impianto di riscaldamento a servizio delle abitazioni, ISTAT ha censito 4 categorie:

- impianto centralizzato ad uso di più abitazioni;
- impianto autonomo ad uso esclusivo dell'abitazione;

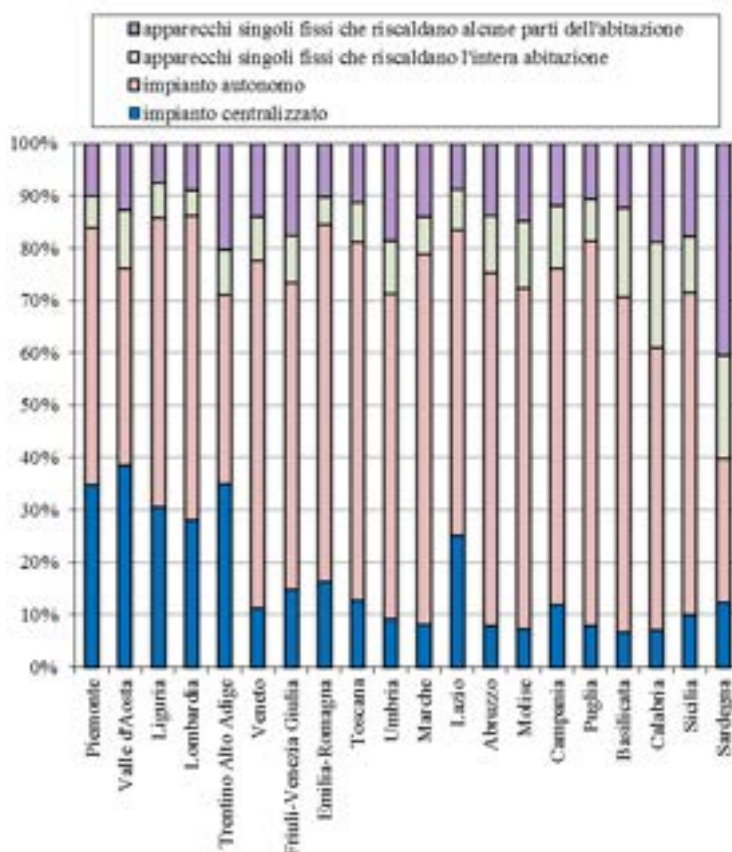
- apparecchi singoli fissi che riscaldano l'intera abitazione, o la maggior parte di essa;
- apparecchi singoli fissi che riscaldano alcune parti dell'abitazione.

In Tabella 4 viene riportato il numero e la distribuzione degli impianti termici nelle categorie sopra riportate.

**Tabella 4 – Classificazione degli impianti termici in Italia**

| Tipologia di impianto  | Valori assoluti [-] | Valori percentuali [%] |
|--|---------------------|------------------------|
| Impianto centralizzato   | 4,871,072           | 18.75%                 |
| Impianto autonomo  | 15,717,341          | 60.51%                 |
| Apparecchi singoli fissi che riscaldano l'intera abitazione          | 2,137,636           | 8.23%                  |
| Apparecchi singoli fissi che riscaldano alcune parti dell'abitazione | 3,246,891           | 12.50%                 |
| TOTALE   | 25,972,940          | 100 %                  |

Nelle Figura 12 e Figura 13, sono visualizzate, rispettivamente, la distribuzione delle diverse tipologie impiantistiche sul territorio italiano (suddivisione regionale) e l'incidenza percentuale degli impianti centralizzati nelle regioni italiane.



**Figura 12 - Distribuzione delle tipologie di Impianto Termico in Italia**

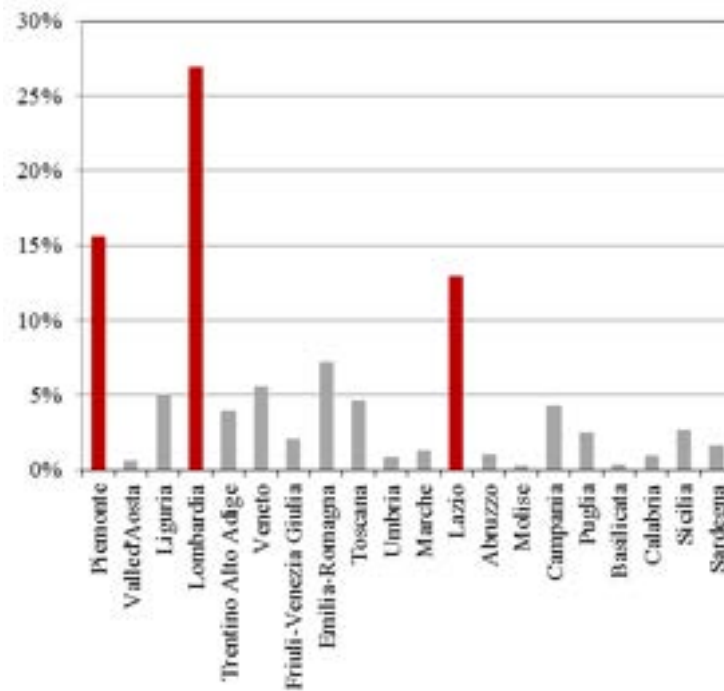


Figura 13 – Distribuzione per regione degli impianti centralizzati

Si evidenzia che circa il 63% del totale degli impianti centralizzati in Italia è distribuito in sole 4 regioni (Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna e Lazio), mentre questa tipologia impiantistica è praticamente trascurabile in 5 regioni, delle quali solo la Valle d'Aosta situata nel Nord Italia (Figura 13). E' opportuno sottolineare che, nelle stesse regioni nelle quali si registra la percentuale più elevata di impianti centralizzati, si riscontra anche la prevalenza della categoria edilizia multifamiliare con 16 e più abitazioni.

### 2.2.2 Definizione degli "Edifici Tipo"

Seguendo la classificazione operata da ISTAT, sono state considerate:


- 6 tipologie di edifici per composizione: i) Edifici monofamiliari; ii) Edifici bifamiliari; iii) edifici multifamiliari 3-4; iv) Edifici multifamiliari 5-8, v) Edifici multifamiliari 9-15; vi) Blocco di appartamenti;
- 9 epoche costruttive: i) precedenti il 1918 (P1); ii) tra il 1919 ed il 1945 (P2); iii) tra il 1946 ed il 1960 (P3); iv) tra il 1961 ed il 1970 (P4); v) tra il 1971 ed il 1980 (P5), vi) tra il 1981 ed il 1990 (P6), vii) tra il 1991 ed il 2000 (P7); viii) tra il 2001 ed il 2005 (P8); ix) successivi al 2006 (P9).

Gli edifici del parco edilizio nazionale sono stati quindi classificati in 54 classi (6 categorie per composizione per 9 epoche costruttive). Per gli scopi della presente ricerca, gli autori hanno adottato le seguenti ipotesi semplificative sulle caratteristiche geometriche e sui parametri prestazionali degli edifici tipo:

- numero medio di piani per categoria occupazionale (media pesata numero di piani/numero edifici);
- superficie utile per appartamento uguale per tutte le epoche costruttive e categorie edilizie e pari al corrispondente valore medio regionale;

- altezza interpiano variabile in funzione della sola epoca costruttiva, da un massimo di 3.4 m ad un minimo di 2.9 m [10];
- calcolo delle superfici disperdenti degli edifici tipo sotto le ipotesi di: i) unico volume riscaldato di forma parallelepipedica; ii) rapporto aeroilluminante dell'abitazione pari all'attuale limite di legge (1/8) per tutte le tipologie ed epoche costruttive; iii) superfici disperdenti orizzontali e verticali (solaio, copertura e pareti opache) distribuite in parti uguali per tutti gli appartamenti componenti l'edificio;
- assenza di ambienti non riscaldati nell'edificio;
- maggiorazione per ponti termici pari al 15% per tutte le tipologie ed epoche costruttive;
- trasmittanze termiche di parete, tetto, pavimento e finestre ( $U_{wall}$ ,  $U_r$ ,  $U_f$ ,  $U_{win}$ ) variabili in funzione dell'epoca costruttiva dell'edificio (a causa della mancanza di dati sullo stato degli edifici esistenti italiani, i dati di trasmittanza termica di "primo tentativo" sono stati ottenuti mediando quelli dati in [11]);
- efficienza del sistema di generazione,  $\eta_{gen}$ , variabile in funzione della categoria di edificio e dell'epoca costruttiva [12];
- efficienze dei sistemi di distribuzione, emissione e termoregolazione ( $\eta_d$ ,  $\eta_e$ ,  $\eta_r$  rispettivamente) sono stati considerati costanti e pari a 0.95.

La superficie utile calpestabile ed il numero medio di piani fuori terra sono parametri specifici delle singole regioni. Una rappresentazione grafica della matrice delle tipologie edilizie è riportata in Figura 14.



| Classificazione di base |                | Proprietà geometriche |                              | Caratteristiche termo-fisiche e prestazionali |   |
|-------------------------|----------------|-----------------------|------------------------------|---|---|
| Dimensione (i)          |                | Età (j)               | Altezza di interpiano $h(j)$ | Trasmittanza termica $U(j)$                   | Rendimenti di impianto e di sistema                       |
| 1                       | SIN_FAM        | P1                    | $h_1$                        | $U_{wall1}, U_{r1},$<br>(...)                 | $\eta_{gen}(i, j)$<br>$\eta_d, \eta_e, \eta_r$ , costanti |
| 2                       | TWO_FAM        |                       |                              |   |   |
| 3                       | MULTI_FAM_3/4  |                       |                              |   |   |
| 4                       | MULTI_FAM_5/8  |                       |                              |   |   |
| 5                       | MULTI_FAM_9/15 |                       |                              |   |   |
| 6                       | MULTI_FAM_+16  |                       |                              |   |   |
| 7                       | SIN_FAM        | P2                    | $h_2$                        | $U_{wall2}, U_{r2},$<br>(...)                 | $\eta_{gen}(i, j)$<br>$\eta_d, \eta_e, \eta_r$ , costanti |
| 8                       | TWO_FAM        |                       |                              |   |   |
| 9                       | MULTI_FAM_3/4  |                       |                              |   |   |
| 10                      | MULTI_FAM_5/8  |                       |                              |   |   |
| 11                      | MULTI_FAM_9/15 |                       |                              |   |   |
| 12                      | MULTI_FAM_+16  |                       |                              |   |   |
| ...                     | SIN_FAM        | (...)                 | (...)                        | (...)   | (...)   |
| ...                     | TWO_FAM        |                       |                              |   |   |
| ...                     | MULTI_FAM_3/4  |                       |                              |   |   |
| ...                     | MULTI_FAM_5/8  |                       |                              |   |   |
| ...                     | MULTI_FAM_9/15 |                       |                              |   |   |
| ...                     | MULTI_FAM_+16  |                       |                              |   |   |
| 49                      | SIN_FAM        | P9                    | $h_9$                        | $U_{wall9}, U_{r9},$<br>(...)                 | $\eta_{gen}(i, j)$<br>$\eta_d, \eta_e, \eta_r$ , costanti |
| 50                      | TWO_FAM        |                       |                              |   |   |
| 51                      | MULTI_FAM_3/4  |                       |                              |   |   |
| 52                      | MULTI_FAM_5/8  |                       |                              |   |   |
| 53                      | MULTI_FAM_9/15 |                       |                              |   |   |
| 54                      | MULTI_FAM_+16  |                       |                              |   |   |

Figura 14 – Matrice delle tipologie edilizie

### 2.2.3 Calibrazione e validazione del modello di calcolo

Il calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale italiana è stato effettuato nella forma semplificata descritta nell'Allegato 2 del Decreto Ministeriale del 26/06/2009 [13], in riferimento sia alla vigente normativa tecnica [14, 15, 16, 17] che all'esistente letteratura scientifica [12], utilizzando le equazioni (1) e (2).

$$EP_H = Q_{P,H} / (\eta_{glob} \times S_{floor}) \text{ [kWh/m}^2\text{/anno]} \quad (1)$$

$$Q_{P,H} = 0.024 GG (H_T + H_V) + f_x (Q_{sol} + Q_{int}) \text{ [kWh]} \quad (2)$$

Dove:

- $Q_{P,H}$  è il fabbisogno di energia per riscaldamento dell'edificio [kWh];
- $GG$  sono i gradi giorno della regione di riferimento [9], [K];
- $\eta_{glob}$  è il rendimento globale del sistema di riscaldamento, [-];
- $S_{floor}$  è la superficie utile [m<sup>2</sup>];
- $H_T$  è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione, [W/K];
- $H_V$  è il coefficiente globale di scambio termico per ventilazione, [W/K];
- $f_x$  è il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti, pari a 0.9, [-];
- $Q_{sol}$  è l'apporto solare termico attraverso l'edificio, che è stato stimato, per un edificio avente un orientamento di riferimento, attraverso di un valore irraggiamento mediato sull'intero periodo di riscaldamento, [kWh];
- $Q_{int}$  è l'apporto gratuito interno dell'edificio, [kWh].

Ciò ha consentito di determinare i consumi energetici per riscaldamento in condizioni standard (i.e. Asset Rating) di ciascuna tipologia edilizia. Per la stima del consumo energetico in condizioni di utilizzo effettivo dell'impianto di riscaldamento (i.e. Operational Rating), è stato necessario correggere il fabbisogno di energia primaria stimata mediante opportuni coefficienti. Questi ultimi sono stati forniti dall'UTEE (Unità Tecnica per l'Efficienza Energetica) di ENEA e sono stati ricavati a valle di un'analisi campionaria su circa 20 mila abitazioni sul territorio italiano.

Il modello è stato infine calibrato e validato attraverso i dati di consumo energetico nazionali e regionali, disponibili da REB [18] e NEB (Bilanci Energetici Nazionali) [8]. Non essendo disponibili dati certi sul consumo residenziale strettamente legato al riscaldamento degli edifici (generalmente accorpata nella macro area "Residenziale", comprendente i consumi energetici derivanti da riscaldamento e raffrescamento degli edifici, illuminazione ed apparecchiature elettriche domestiche, uso cottura e produzione di acqua calda sanitaria), tale dato è stato ottenuto per le singole regioni utilizzando lo share medio nazionale, ricavato da un'analisi delle statistiche nazionali degli ultimi 25 anni, come riportato in Tabella 5.

**Tabella 5 – Consumi residenziali e per solo riscaldamento in Italia**

| Anno         | Consumo settore residenziale [Mtep] | Consumo per riscaldamento [Mtep] | Incidenza del riscaldamento sui consumi residenziali [%] |
|--------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| 1990         | 25.865                              | 17.181                           | 66%  |
| 1995         | 26.107                              | 17.001                           | 65%  |
| 1999         | 28.611                              | 19.150                           | 67%  |
| 2000         | 27.582                              | 18.160                           | 66%  |
| 2001         | 28.900                              | 19.362                           | 67%  |
| 2002         | 28.741                              | 19.164                           | 67%  |
| 2003         | 31.589                              | 21.544                           | 68%  |
| 2004         | 31.425                              | 21.103                           | 67%  |
| 2005         | 33.921                              | 23.366                           | 69%  |
| 2006         | 32.423                              | 22.156                           | 68%  |
| 2007         | 32.339                              | 22.236                           | 69%  |
| 2008         | 33.612                              | 23.321                           | 69%  |
| 2009         | 34.040                              | 23.579                           | 69%  |
| 2010         | 35.393                              | 24.637                           | 70%  |
| 2011         | 32.378                              | 21.737                           | 67%  |
| 2012         | 34.348                              | 23.617                           | 69%  |
| 2013         | 34.231                              | 23.692                           | 69%  |
| 2014         | 29.546                              | 19.841                           | 67%  |
| 2015         | 32.495                              | 22.240                           | 68%  |
| <i>Media</i> |                                     |                                  | <i>68%</i>   |

I dati (i.e. sia quelli calcolati che quelli reali), sono stati aggiornati rispetto all'anno di riferimento 2015 operando una correzione in base ai dati climatici per consentire il confronto tra dati riferiti ad anni differenti. È stata infine eseguita la calibrazione dei consumi energetici delle singole tipologie edilizie applicando opportuni coefficienti correttivi delle trasmittanze termiche, per tener conto delle inevitabili incertezze sui parametri termo-fisici delle tipologie edilizie definite. I consumi calcolati con il modello e quelli reali aggiornati sono riportati in Tabella 6.

**Tabella 6 – Consumi calcolati e stimati**

|             | Regione               | Coefficienti correttivi [-] | Consumi stimati [Mtep] | Consumi REBs [Mtep] | Deviazione [%] |
|-------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| Nord        | Piemonte              | 1.03                        | 2.099                  | 2.076               | 1.10%          |
|             | Valle d'Aosta         | 1.02                        | 0.092                  | 0.093               | -1.23%         |
|             | Liguria               | 0.73                        | 0.549                  | 0.552               | -0.57%         |
|             | Lombardia             | 0.65                        | 5.030                  | 4.960               | 1.42%          |
|             | Trentino Alto Adige   | 0.76                        | 0.595                  | 0.585               | 1.71%          |
|             | Veneto                | 0.59                        | 1.954                  | 1.926               | 1.45%          |
|             | Friuli-Venezia Giulia | 0.77                        | 0.469                  | 0.461               | 1.69%          |
|             | Emilia-Romagna        | 1.00                        | 2.680                  | 2.641               | 1.47%          |
| Centro      | Toscana               | 1.16                        | 1.442                  | 1.419               | 1.59%          |
|             | Umbria                | 0.79                        | 0.515                  | 0.506               | 1.70%          |
|             | Marche                | 1.15                        | 0.509                  | 0.514               | -0.88%         |
|             | Lazio                 | 0.90                        | 1.887                  | 1.857               | 1.62%          |
|             | Abruzzo               | 1.26                        | 0.595                  | 0.598               | -0.47%         |
| Sud e Isole | Molise                | 0.85                        | 0.117                  | 0.118               | -1.31%         |
|             | Campania              | 0.48                        | 0.728                  | 0.729               | -0.16%         |
|             | Puglia                | 0.54                        | 0.837                  | 0.834               | 0.44%          |
|             | Basilicata            | 0.49                        | 0.122                  | 0.123               | -0.65%         |
|             | Calabria              | 0.81                        | 0.266                  | 0.264               | 0.85%          |
|             | Sicilia               | 0.66                        | 0.762                  | 0.771               | -1.19%         |
| Sardegna    | 0.65                  | 0.326                       | 0.331                  | -1.29%              |                |
| Italia      |                       |                             | 21.573                 | 21.357              | +1.01%         |

## 2.3 Stima dei benefici energetici potenziali su scala regionale e nazionale ottenibili dalla contabilizzazione individuale

Una volta ottenuta una stima attendibile del consumo energetico residenziale per riscaldamento del parco edilizio residenziale italiano, sono stati analizzati gli scenari di incentivazione fiscale applicabili al fine di stimare il corrispondente risparmio energetico nazionale:

- nessun incentivo dei costi sostenuti: tale situazione si verifica nel caso in cui il proprietario dell'appartamento abbia un reddito insufficiente per godere dell'agevolazione fiscale;
- agevolazione fiscale del 50% dei costi sostenuti, applicabile quando viene eseguita la sola installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione e il proprietario dell'appartamento ha un reddito sufficiente per godere del beneficio fiscale;
- agevolazione fiscale del 65% dei costi sostenuti, applicabile quando l'installazione di sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione viene eseguita unitamente alla sostituzione della caldaia con una ad elevata efficienza ed il proprietario dell'appartamento ha un reddito sufficiente per godere del beneficio fiscale.

I sopra descritti incentivi fiscali sono stati quindi considerati nella stima dei costi/benefici nella fase di fattibilità economica, eseguita secondo la norma EN ISO 15459 [19]. L'analisi è stata eseguita sulle tipologie edilizie individuate nell'analisi del parco edilizio italiano, al fine di determinare il valore minimo di energia primaria per riscaldamento ( $EP_{H,min}$ ) al di sopra del quale gli edifici dovrebbero essere obbligati ad installare sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione (i.e. quando è accertata l'esistenza di un beneficio economico). L'analisi è stata condotta sotto le seguenti ipotesi [20, 21, 22, 7]):

- superficie media dell'appartamento pari a 97 m<sup>2</sup>;
- numero medio di stanze per appartamento pari a 6;
- costi di investimento e operativi ricavati dall'analisi dei costi del mercato italiano ( Tabella 7);
- periodo di calcolo di 10 anni;
- tasso di interesse di mercato pari a 4.50%;
- costo energetico pari a 0.085 €/kWh (derivato dal costo del gas naturale in Italia).

**Tabella 7 – Costi standard dei componenti dei sistemi di contabilizzazione**

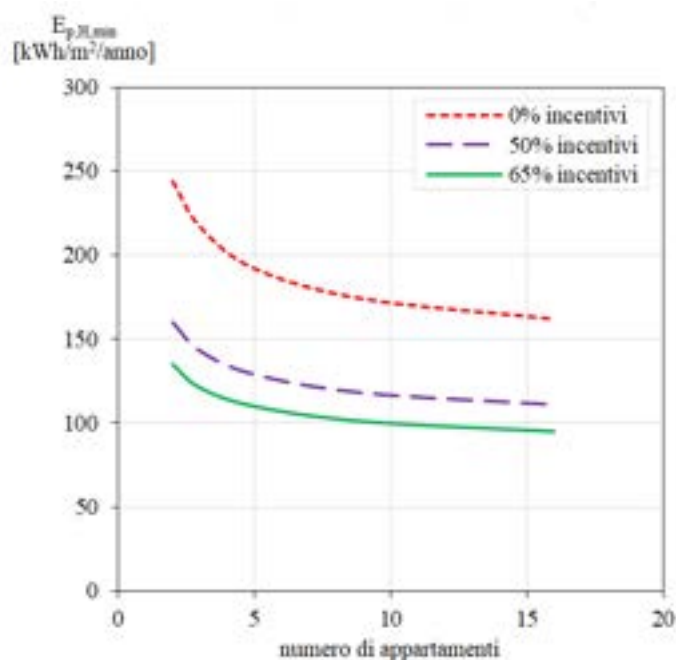
| Descrizione (inclusa installazione)         | Imponibile [€/unità] |
|---|----------------------|
| Ripartitore di Calore                       | 35.00                |
| Gruppo valvola/detentore/testa termostatica | 45.00                |
| Sistema di acquisizione dati centrale       | 600.00               |
| Eventuali concentratori/ripetitori          | 30.00                |
| Progetto sistema contabilizzazione          | 200.00               |
| Manutenzione annuale preventiva             | 1% costo ripartitore |
| Servizio di Lettura                         | 2.00                 |
| Servizio di ripartizione delle spese        | 2.00                 |

Eventuali costi imputabili alle modifiche all'impianto sono stati calcolati, per l'intero edificio oggetto di analisi, mediante la formula (3).

$$\text{Costi modifiche} = 500 \cdot \sqrt{n_{\text{appartamenti}}} \quad [€] \quad (3)$$

Nel considerare l'edificio esentato/obbligato rispetto all'installazione dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione, il consumo energetico è stato stimato sia in condizioni di AR che di OR. Mentre la prima opzione è più facilmente applicabile, in quanto indipendente da come viene condotto l'impianto e dall'inevitabile variabilità climatica (che è difficilmente prevedibile a priori), il secondo approccio è più preciso nella stima del risparmio effettivo ottenibile e, di conseguenza, anche più efficace nella definizione degli interventi di retrofit per l'efficientamento energetico dell'edificio.

In Figura 15 è mostrato l'andamento del valore minimo di  $EP_H$  risultante dall'analisi economica di fattibilità eseguita sull'edificio di riferimento, in funzione del numero di abitazioni nell'edificio e dei tre diversi scenari di incentivazione per l'installazione di sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione. Nell'analisi di fattibilità economica è stato considerato un beneficio pari a 8.7% nel primo anno e dell'11% negli anni successivi, come descritto nel par. 2.1.2



**Figura 15 – Andamento del valore di  $EP_{H,min}$  al variare dell'incentivo fiscale applicabile**

In Tabella 8 sono riportati i risultati in termini di risparmio energetico ottenibile attraverso le diverse politiche di incentivazione e i due possibili approcci di applicazione dell'obbligo (stima del consumo energetico dell'edificio in condizioni di AR o di OR).

**Tabella 8 – Risparmio energetico stimato per regione e per approccio**

| Region                |                       | Politica fiscale 1<br>(incentivi 0%) |       | Politica fiscale 2<br>(incentivi 50%) |       | Politica fiscale 3<br>(incentivi 65%) |       |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|
|                       |                       | OR                                   | AR    | OR                                    | AR    | OR                                    | AR    |
| Nord                  | Piemonte              | 0.000                                | 0.020 | 0.035                                 | 0.056 | 0.042                                 | 0.065 |
|                       | Valle d'Aosta         | 0.002                                | 0.003 | 0.004                                 | 0.004 | 0.004                                 | 0.004 |
|                       | Liguria               | 0.000                                | 0.004 | 0.003                                 | 0.015 | 0.006                                 | 0.017 |
|                       | Lombardia             | 0.042                                | 0.089 | 0.106                                 | 0.140 | 0.128                                 | 0.143 |
|                       | Trentino Alto Adige   | 0.011                                | 0.016 | 0.020                                 | 0.023 | 0.022                                 | 0.024 |
|                       | Veneto                | 0.000                                | 0.000 | 0.005                                 | 0.014 | 0.010                                 | 0.017 |
|                       | Friuli-Venezia Giulia | 0.000                                | 0.000 | 0.000                                 | 0.002 | 0.002                                 | 0.005 |
|                       | Emilia-Romagna        | 0.015                                | 0.044 | 0.036                                 | 0.046 | 0.040                                 | 0.047 |
| Centro                | Toscana               | 0.000                                | 0.009 | 0.006                                 | 0.017 | 0.011                                 | 0.019 |
|                       | Umbria                | 0.001                                | 0.005 | 0.004                                 | 0.006 | 0.005                                 | 0.006 |
|                       | Marche                | 0.000                                | 0.000 | 0.000                                 | 0.004 | 0.001                                 | 0.004 |
|                       | Lazio                 | 0.000                                | 0.023 | 0.014                                 | 0.048 | 0.021                                 | 0.049 |
|                       | Abruzzo               | 0.000                                | 0.003 | 0.002                                 | 0.005 | 0.003                                 | 0.005 |
| Sud e Isole           | Molise                | 0.000                                | 0.000 | 0.000                                 | 0.001 | 0.000                                 | 0.001 |
|                       | Campania              | 0.000                                | 0.000 | 0.000                                 | 0.000 | 0.000                                 | 0.000 |
|                       | Puglia                | 0.000                                | 0.000 | 0.000                                 | 0.001 | 0.000                                 | 0.003 |
|                       | Basilicata            | 0.000                                | 0.000 | 0.000                                 | 0.000 | 0.000                                 | 0.000 |
|                       | Calabria              | 0.000                                | 0.000 | 0.000                                 | 0.000 | 0.000                                 | 0.000 |
|                       | Sicilia               | 0.000                                | 0.000 | 0.000                                 | 0.001 | 0.000                                 | 0.001 |
|                       | Sardegna              | 0.000                                | 0.000 | 0.000                                 | 0.001 | 0.000                                 | 0.002 |
| Italia (Mtep)         |                       | 0.072                                | 0.216 | 0.233                                 | 0.384 | 0.295                                 | 0.410 |
| Italia (percentuale*) |                       | 0.33%                                | 1.00% | 1.08%                                 | 1.78% | 1.37%                                 | 1.90% |

Dai dati in Tabella 8 si può rilevare che se tutte le abitazioni potenzialmente obbligate in Italia installassero sistemi di contabilizzazione individuale e termoregolazione, il risparmio energetico complessivo varierebbe tra lo 0.3% e l'1.9% del consumo annuo per riscaldamento, corrispondente a 0.072 e a 0.410 Mtep/anno, rispettivamente. Dall'analisi effettuata emergono alcune interessanti osservazioni:

- quasi tutte le regioni italiane meridionali potrebbero essere esentate dall'installazione di sistemi di contabilizzazione e termoregolazione, indipendentemente dagli scenari di incentivazione applicabili; in alternativa potrebbe essere effettuata un'analisi differenziata per zone climatiche in luogo delle zone geografiche;
- gli incentivi fiscali portano a un risparmio energetico potenzialmente più elevato nelle regioni del Centro/Nord Italia;
- l'approccio obbligativo AR presenta un maggiore risparmio energetico rispetto a quello OR, in particolare modo in assenza di incentivi fiscali;
- gli scenari di incentivazione fiscale del 50% e 65% presentano risultati abbastanza simili (in particolare per l'approccio AR).

## 2.4 Validazione ed ottimizzazione del foglio di calcolo per l'analisi costi benefici della contabilizzazione individuale ENEA ed applicazione a edifici reali per diverse zone climatiche

Nell'ambito del presente progetto di ricerca è stata effettuata l'ottimizzazione e validazione del software per l'analisi di fattibilità tecnico-economica dei sistemi di contabilizzazione e ripartizione del calore, sviluppato nella precedente annualità di RSE [23].

Il software si basa su un'interfaccia utente semplice costruita su fogli di calcolo Excel nei quali, mediante inserimento di una serie di dati di ingresso, è possibile procedere alla valutazione della fattibilità tecnico-economica. La versione base del software è stata oggetto di una ottimizzazione che ha consentito di effettuare le seguenti modifiche e miglioramenti:

- inserimento di un foglio di istruzioni;
- sviluppo di una nuova interfaccia utente user-friendly con pulsanti per lo spostamento tra i fogli ed elenchi a tendina;
- protezione delle celle contro modifiche indesiderate a collegamenti e riferimenti;
- possibilità di stampa di un foglio di riepilogo/certificato", da completarsi a cura del progettista incaricato della valutazione;
- possibilità di inserimento manuale dei costi e del beneficio atteso (a cura del progettista in base al tipo di intervento in esame ed ai preventivi disponibili).

Il software si compone, nella sua versione finale, di 7 fogli di calcolo, che di seguito vengono brevemente descritti:

### 1. "Istruzioni"

In questo foglio sono presenti indicazioni e suggerimenti per il corretto utilizzo del SW e degli strumenti messi a disposizione del progettista (Figura 16).



Figura 16 – Foglio di istruzioni

## 2. "Fattibilità tecnica (HM, HCA)"

Il foglio di fattibilità tecnica è costituito da due sezioni: la prima, nella quale il progettista inserisce i dati caratteristici dell'edificio (Figura 17); nella seconda, evidenziata in rosso sono invece inserite informazioni specifiche per la valutazione di fattibilità tecnica (e.g. tipologia di fluido termovettore e tipo di distribuzione dell'impianto di riscaldamento, terminali di emissione installati). L'output del foglio è visualizzato nella sezione "Esito", con indicazione del sistema di contabilizzazione ottimale ai sensi della norma tecnica UNI 10200 [24].

The image shows a screenshot of the ENEC 'TECHNICAL ASSESSMENT AND VIABILITY' form. The form is divided into two main sections. The first section, with a grey background, contains general building characteristics. The second section, with a red background, contains specific technical assessment data. Below the red section is a grey 'ESITO' (Result) section with a text box and two buttons: 'Pulisci campi' and 'Avanti'.

| TECHNICAL ASSESSMENT AND VIABILITY   |   |
|--|---|
| Comune   | Cassino                                 |
| Età edificio   |   |
| Tipologia edificio   |   |
| Numero appartamenti totali   | 6                                       |
| Numero medio corpi scaldanti per appartamento  | 9                                       |
| Numero piani   | 3                                       |
| Numero edifici   | 1                                       |
| Superficie Totale utile edificio [m2]  | 720                                     |
| Tipo Combustibile  | Gas Naturale                            |
| Potere Calorifero Inferiore, PCI [kWh/u.c.l]   | 9.60                                    |
| Superficie media unità immobiliare [m2]  | 120                                     |
| Energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale riferita alla superficie utile, E <sub>ph,non</sub> [kWh/m2/anno]  | 124                                     |
| Gradi Giorno   | 184                                     |
| Zona climatica   | C                                       |
| Periodo di utilizzo riscaldamento  | 15 novembre-31 marzo                    |
| Consumo medio combustibile [u.c./anno]   |   |
| Energia primaria riferita alla superficie utile (Operational Rating), E <sub>ph</sub> [kWh/m2/anno]  | -                                       |
| Fattore d'uso, f <sub>u,uso</sub>  | -                                       |
| <b>Che tipo di sistema di contabilizzazione del calore è installato?</b>   | Nessuno                                 |
| <b>Fluido termovettore</b>   | Acqua calda a bassa Temperatura (<90°C) |
| <b>Tipologia impianto di distribuzione</b>   | verticale                               |
| <b>Tipo di terminale di emissione</b>  | Radiatori                               |
| <b>ESITO</b>   |   |
| Installazione HM non ottimale, secondo UNI 10200, si procede per valutazione economica sistema indiretto, selezionare tipo di sistema indiretto desiderato dal menù a tendina in basso |   |
| <b>Che tipo di sistema indiretto si intende installare?</b>  | HCA                                     |
| <input type="button" value="Pulisci campi"/> <input type="button" value="Avanti"/>   |   |

Figura 17 - Caratteristiche di edificio ed impianto e prima valutazione della fattibilità tecnica

### 3. "Query valutazione HM"

A questo foglio si accede esclusivamente nel caso in cui l'esito dell'analisi di fattibilità tecnica per l'installazione di contatori diretti sia positivo. Nel foglio vengono perciò raccolte informazioni aggiuntive relative alle caratteristiche dell'impianto termico e dell'intervento di installazione del sistema (e.g. necessità di realizzare tracce nella muratura, tubazioni di mandata e ritorno facilmente accessibili, assenza di tratti rettilinei di tubazione, presenza di cassetta di montaggio, ...) al fine di consentire una stima più accurata dei costi di installazione del sistema di contabilizzazione con contatori diretti (Figura 18). Ulteriori informazioni vengono richieste al progettista relativamente al tipo di feedback per l'utente (e.g. frequenza di fatturazione, accesso ai dati su portale, ...) o all'installazione contemporanea di valvole termostatiche (non obbligatoria con i sistemi di contabilizzazione con contatori diretti), al fine di fornire indicazioni aggiuntive all'utilizzatore riguardo alla stima del beneficio atteso.

**ENEA**

QUESTIONARIO VALUTATIVO (CONTABILIZZAZIONE DIRETTA)

|   |    |  |   |
|---|----|--|---|
| Numero di punti di accesso delle tubazioni di mandataritorno per singolo appartamento |    |  |   |
| Mandataritorno sono raccolte in un armadietto (i.e. non necessarie opere murarie)?    |    | In prossimità della cassetta di isolamento si dispone di almeno 600 mm di tubazione rettilinea?  |   |
| Sono installate valvole di chiusura per isolare le tubazioni di mandataritorno?       |    | Esiste un punto di intercettazione a vista delle tubazioni di mandataritorno?  | Il punto di intercettazione presenta ostacoli di accesso? |
| E' presente un layout del tracciato dell'impianto di distribuzione?                   | No | <b>E' molto probabile che l'installazione degli HM non risulta conveniente dal punto di vista economico. Si proceda alla valutazione economica dell'intervento di installazione HCA.</b> |   |
| Si vogliono installare valvole termostatiche?   | NR | L'installazione di valvole termostatiche potrebbe comportare un incremento del beneficio di base in funzione del sistema di termoregolazione pre-esistente                               |   |
| Le murature potrebbero attenuare il segnale wireless (i.e. pareti spesse)?            |    |  | ---   |
| Qual è la portata degli HM da installare?   |    | NR   |   |
| Si vuole installare un sistema di feedback utente?                                    |    | L'installazione di un sistema di feedback potrebbe aumentare il beneficio di base (fino a +4%)   | Quale sistema di feedback si intende installare?          |

Pulisci campi    Indietro    Avanti

Figura 18 - Caratteristiche specifiche di impianto per la valutazione dell'intervento di installazione HM

### 4. "Inserimento costi"

In questo foglio sono inseriti i costi stimati per l'intervento (Figura 19). In assenza di preventivi specifici per l'edificio, possono essere utilizzati i costi standard CAPEX ed OPEX risultanti da un'indagine di mercato preventiva del DICEM.

E' infine possibile considerare l'applicazione degli incentivi fiscali selezionando la specifica voce nel menu a tendina.

| INSERIMENTO COSTI                                    |         |                   |          |
|--|---------|-------------------|----------|
| Inserimento costi standard                           |         | Installazione di: | HCA      |
| CAPEX  |         |                   | 5 503.85 |
| OPEX   |         |                   | 351.00   |
|  | #unità  | unità             |          |
| Contatore di calore                                  | NR      | NR                | -        |
| Installazione contatore [fapp]                       | NR      | NR                | -        |
| Gestione annuale contatore [fapp]                    | NR      | NR                | -        |
| Progetto del sistema di contabil. (incl. APE) [fapp] | 100.00  | 6                 | 600.00   |
| Ripartitore di calore                                | 33.90   | 54                | 1830.60  |
| Gruppo valvola/detentore/valvola termostatica [fcs]  | 40.00   | 54                | 2 160.00 |
| Gestione annuale ripartitore [fcalanno]              | 6.50    | 54                | 351.00   |
| COSTI AGGIUNTIVI                                     |         |                   |          |
| Cassetta con valvole di isolamento [fapp]            | 40.00   | NR                | -        |
| Raddrizzatore di flusso [fapp]                       | 40.00   | NR                | -        |
| Gruppo valvola/detentore/valvola termostatica [fcs]  | 40.00   | 0                 | -        |
| Pompa di ricircolo [fedf]                            | 100.00  | 1                 | 100.00   |
| Installazione pompa di ricircolo [fedf]              | 200.00  | 1                 | 200.00   |
| Eventuali concentratori/ripetitori [funità]          | 33.25   | 1                 | 33.25    |
| Sistema di acquisizione dati (SAD) [fedf]            | 580.00  | 1                 | 580.00   |
|  |         |                   | magg. %  |
| Eventuali incentivi IRPEF                            |         |                   | 50%      |
| Altri interventi necessari                           | Nessuno |                   | 0%       |

Figura 19 - Inserimento dei costi di intervento

Nella cella denominata "Altri interventi necessari" è infine possibile considerare le eventuali maggiorazioni dei costi di installazione in impianti non pienamente predisposti, come descritto in Tabella 9.

Tabella 9 - Maggiorazione costi

| Voce                                       | Caso  | Maggiorazione |
|--|---|---------------|
| <b>Nessuna maggiorazione</b>               | Caso ottimale, l'impianto è già predisposto per l'installazione di HM e non sono necessarie ulteriori opere di adattamento  | 0%            |
| <b>Interventi murari di piccola entità</b> | Piccoli interventi si rendono necessari al fine di installare i contatori diretti (i.e. esiste un punto di intercettazione a vista delle tubazioni di mandata/ritorno che non presenta ostacoli di accesso)               | 25%           |
| <b>Opere murarie minori</b>                | Interventi di media entità si rendono necessari al fine di installare i contatori diretti (i.e. esiste un punto di intercettazione a vista delle tubazioni di mandata/ritorno che presenta ostacoli di accesso)           | 50%           |
| <b>Opere murarie maggiori</b>              | Interventi di maggiore entità si rendono necessari al fine di installare i contatori diretti (i.e. non esiste un punto di intercettazione a vista delle tubazioni di mandata/ritorno ma è presente un tracciato impianto) | 100%          |

## 5. "Beneficio atteso"

In questo foglio è disponibile un valore standard di beneficio atteso per l'installazione dei sistemi di contabilizzazione pari al 10% (Figura 20). Il progettista può inserire valori diversi in funzione del tipo di intervento valutato (e.g. beneficio maggiore con particolari sistemi di feedback o valvole termostatiche ad elevate prestazioni, o presenza di sistemi di automazione dell'impianto).

Figura 20 - Inserimento del beneficio atteso

## 6. "VAN"

Nel foglio "VAN" (Figura 21) è presente, in forma grafica e tabellare, il risultato dell'analisi di fattibilità economica insieme ad un riepilogo dei dati di ingresso utilizzati per il calcolo. L'esito della valutazione è positivo se il VAN della differenza Beneficio-Costi al decimo anno risulta positivo.

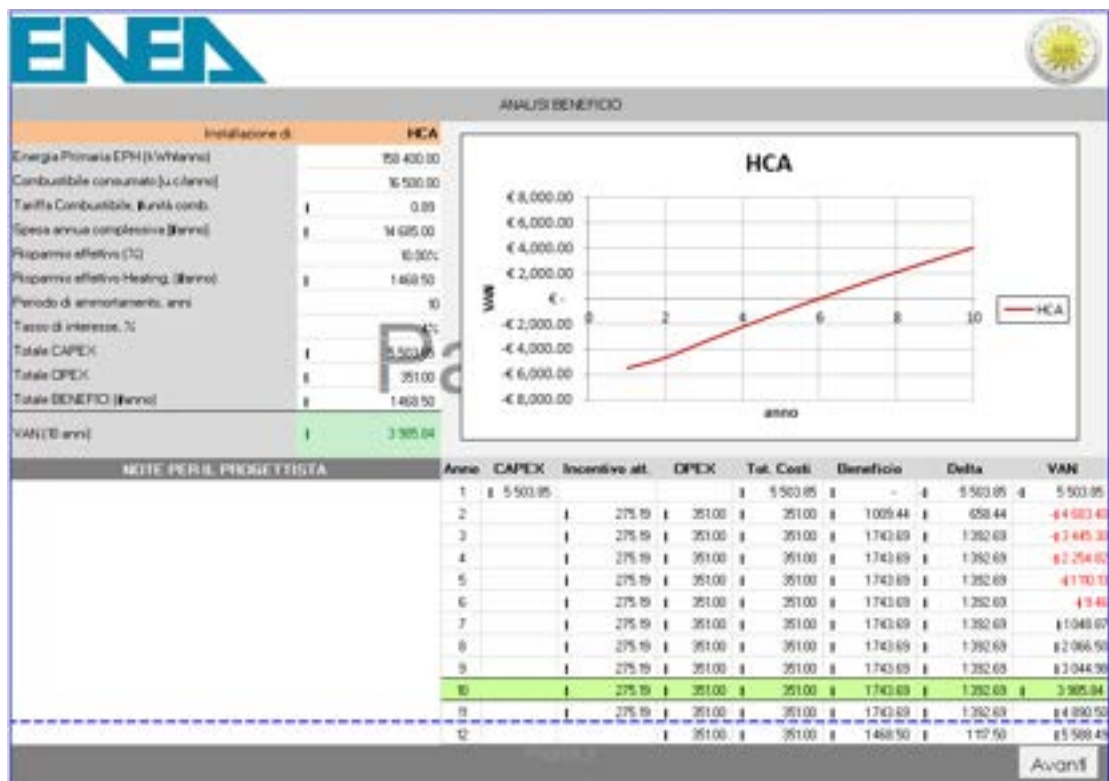


Figura 21 - Analisi di fattibilità economica

## 7. "Stampa certificato"

Nel foglio "Stampa certificato" è possibile stampare il riepilogo dell'analisi effettuata, corredandola con apposite note del progettista (Figura 22). Il suddetto report può così diventare parte della relazione del Progettista ai sensi del DL 102/204 e s.m.i. [25].

| CERTIFICATO  |   |
|--|---|
| DATI DELL'EDIFICIO   |   |
| Comune   | Cassino   |
| Età edificio   | 0   |
| Tipologia edificio   | 0   |
| Numero appartamenti totali   | 6   |
| Numero medio-cori scalanti per appartamenti  | 9   |
| Numero piani   | 3   |
| Numero edifici   | 1   |
| Superficie Totale utile edificio (m <sup>2</sup> )   | 720   |
| Superficie media unità immobiliare (m <sup>2</sup> )   | 120   |
| E <sub>gh</sub> (kWh/anno)   | 220   |
| Grad. Giorni   | 1164  |
| Zona climatica   | C   |
| Periodo di utilizzo riscaldamento  | 15 novembre-31 marzo  |
| Consumo medio combustibile (L/anno)  | 0   |
| Tipi Combustibile  | Gas Naturale  |
| Potere Calorifico inferiore (PCI) (MJ/Lit.)  | 9,60  |
| Sistema di contabilizzazione preesistente  | Nessuno   |
| Fluido termovettore  | Acqua calda a bassa Temperatura (<90°C)   |
| Topologia impianto di distribuzione  | verticale   |
| Tipi di terminale di emissione   | Radiatori   |
| <b>Esito prima valutazione fattibilità tecnica</b>   |   |
| Installazione HM non ottimale, secondo UNI 10200, si procede per valutazione economica sistema indiretto, selezionare tipo di sistema indiretto desiderato dal menù a tendina in basso |   |
| Sistema di contabilizzazione valutato  | HCA   |
| <b>Esito valutazione fattibilità economica</b>   |   |
| Beneficio atteso   | 10%   |
| VAN (10 anni)  | € 3.985,84  |
| <b>Note del progettista</b>  | N.B. Annotare in questo campo eventuali valutazioni preliminari aventi come risultato fattibilità economica |

Figura 22 - Stampa certificato

### 3 Elaborazione e sperimentazione di indici di efficienza per l'analisi dei consumi energetici connessi al riscaldamento degli edifici

Non sempre le informazioni derivanti dai sistemi di contabilizzazione sono direttamente interpretabili dagli utenti finali in maniera efficace per numerosi motivi. In primo luogo per la complessità e trasparenza delle informazioni di misura (e.g. alcuni sistemi di ripartizione non sono programmabili e le unità di ripartizione non sono direttamente riconducibili all'energia consumata). In secondo luogo per la numerosità e la tempestività dei dati: avere troppi dati o averli troppo tardi è equivalente a non avere alcuna informazione.

A tal fine è stata realizzata una campagna di misura sperimentale presso un edificio residenziale pilota per l'elaborazione e sperimentazione di indici di efficienza basati sui sistemi di ripartizione del calore adatti sia ad analizzare le prestazioni energetiche degli edifici che le criticità di misura nella contabilizzazione diretta ed indiretta su edifici residenziali.

#### 3.1 Elaborazione indici di risparmio energetico utilizzabili con i sistemi di contabilizzazione/ripartizione individuale per poter stimare la quantità e qualità dei consumi delle singole unità immobiliari

Ai fini della valutazione degli indici di risparmio per l'analisi dei consumi energetici relativi al riscaldamento degli edifici, sono stati definiti e valutati gli indici di risparmio globale (i.e. dell'edificio), parziale (i.e. di ogni singolo appartamento) e locale (i.e. di ciascun ambiente riscaldato), in accordo al protocollo internazionale di verifica e misura delle prestazioni [26]. In particolare, sono definiti:

- l'indice di risparmio globale ( $IR_{gt}$ ), pari alla differenza tra il consumo di energia primaria stimato nel periodo di riferimento adattato alle condizioni di utilizzo dell'utenza e alle condizioni climatiche effettive (*tailored rating*) e il corrispondente consumo di energia dell'intero edificio nelle condizioni di effettivo utilizzo (*operational rating*);
- l'indice di risparmio parziale ( $IR_p$ ), pari alla differenza tra il consumo di energia primaria stimato nel periodo di riferimento adattato alle condizioni di utilizzo dell'utenza e alle condizioni climatiche effettive (*tailored rating*) e il corrispondente consumo di energia dei singoli appartamenti nelle condizioni di effettivo utilizzo (*operational rating*);
- l'indice di risparmio locale ( $IR_l$ ), pari alla differenza tra il consumo di energia primaria stimato nel periodo di riferimento adattato alle condizioni di utilizzo dell'utenza e alle condizioni climatiche effettive (*tailored rating*) e il corrispondente consumo di energia dei singoli locali riscaldati nelle condizioni di effettivo utilizzo (*operational rating*).

Per il calcolo degli indici di risparmio, i consumi energetici sono stati destagionalizzati riferendoli alle condizioni climatiche convenzionali, attraverso la misura dei gradi giorno effettivi. Inoltre, i consumi di energia primaria nelle condizioni di utilizzo adattate all'utenza sono stati invece calcolati adattando i consumi nelle condizioni standard (*asset rating*) in funzione del grado di occupazione e dell'inerzia termica dell'edificio (*tailored rating*). Sono state allo scopo utilizzate le formule seguenti:

$$Q_{P,H} = EP_{H,nd} \cdot S \quad (4)$$

$$(Q_{P,H})_T = Q_{P,H} \cdot FR \quad (5)$$

$$IR_{gl} = \left( \frac{\frac{(Q_{P,H})_{TR}}{GG_{norm.}} \cdot \frac{(Q_{P,H})_{OR}}{GG_{eff}}}{\frac{(Q_{P,H})_{TR}}{GG_{norm.}}} \right)_{gl} \quad (6)$$

$$IR_p = \left( \frac{\frac{(Q_{P,H})_{TR}}{GG_{norm.}} \cdot \frac{(Q_{P,H})_{OR}}{GG_{eff}}}{\frac{(Q_{P,H})_{TR}}{GG_{norm.}}} \right)_p \quad (7)$$

$$IR_l = \left( \frac{\frac{(Q_{P,H})_{TR}}{GG_{norm.}} \cdot \frac{(Q_{P,H})_{OR}}{GG_{eff}}}{\frac{(Q_{P,H})_{TR}}{GG_{norm.}}} \right)_l \quad (8)$$

Dove:

- $(Q_{P,H})_{OR}$ , Energia primaria in condizioni di operational rating, kWh
- $(Q_{P,H})_{TR}$ , Energia primaria in condizioni di tailored rating, kWh
- $Q_{P,H}$ , Energia primaria per riscaldamento, kWh
- $EP_{H,nd}$ , Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento, kWh/m<sup>2</sup>
- $GG_{eff}$ , Gradi Giorno effettivi, °C
- $GG_{norm}$ , Gradi Giorno da normativa, °C
- $IR_{gl}$ , Indice di risparmio globale (edificio), %
- $IR_l$ , Indice di risparmio locale (singolo ambiente), %
- $IR_p$ , Indice di risparmio parziale (appartamento), %
- $FR$ , fattore medio di riduzione dei consumi, %
- $GG$ , Gradi Giorno, °C
- $S$ , Superficie, m<sup>2</sup>

I sopra descritti indici di risparmio possono essere stimati su base stagionale (ovvero per l'intera stagione di riscaldamento), mensile o bisettimanale. In tal modo essi possono essere monitorati per valutare le eventuali variazioni nel tempo degli stili di consumo nell'intero edificio e dei singoli appartamenti e dell'uso dei singoli ambienti.

### 3.2 Sperimentazione degli indici di risparmio e analisi dei dati di monitoraggio dei consumi individuali della seconda annualità presso l'impianto pilota di Cassino

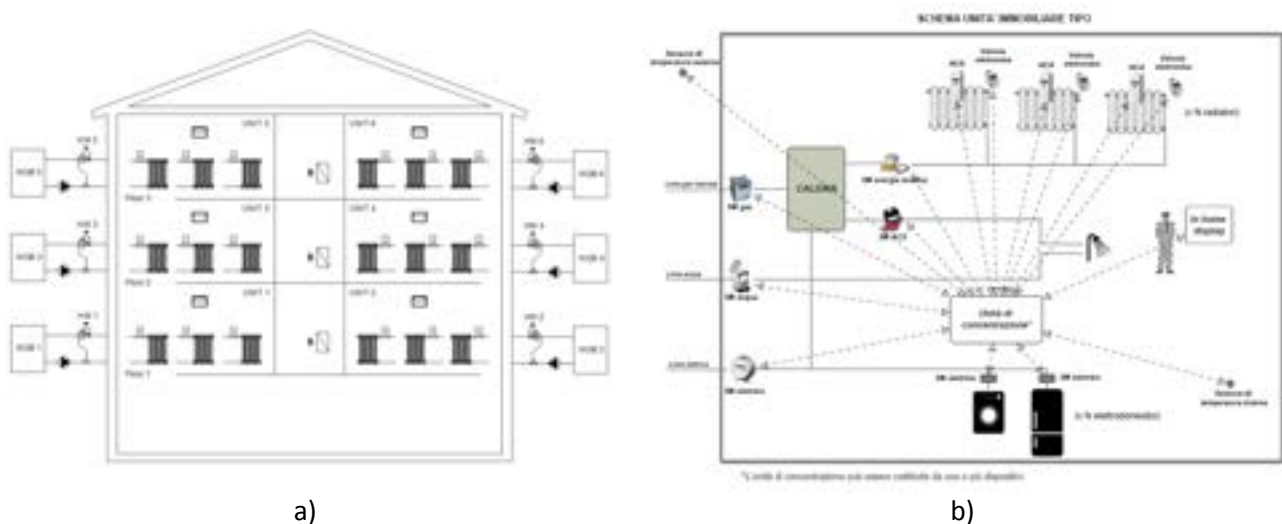
#### 3.2.1 Descrizione dell'edificio pilota

L'edificio investigato è costituito da 6 unità immobiliari, tutte destinate all'uso residenziale. L'edificio è stato edificato intorno al 1950 ed è ubicato nel centro urbano di Cassino (FR). Esso è costituito da 4 piani fuori terra, uno dei quali adibito ad uso commerciale (non oggetto della sperimentazione) e tre ad uso residenziale. In Tabella 10 sono riportate le principali caratteristiche dell'edificio.

**Tabella 10 - Caratteristiche principali dell'edificio pilota investigato**

|   |                     |
|---|---------------------|
| Ubicazione edificio                               | Cassino (FR)        |
| Zona climatica                                    | C                   |
| Gradi giorno                                      | 1164                |
| Numero livelli                                    | 4                   |
| Unità immobiliari coinvolte nella sperimentazione | 6                   |
| Destinazione d'uso delle unità immobiliari        | Residenziale        |
| Superficie totale dell'edificio                   | 1268 m <sup>2</sup> |
| Superficie riscaldata totale                      | 825 m <sup>2</sup>  |

Ogni unità abitativa è servita da un impianto di riscaldamento autonomo con caldaia alimentata a gas naturale, un sistema di distribuzione del fluido termovettore orizzontale e radiatori come unità terminali di emissione, come schematizzato nella successiva Figura 23, mentre nella Figura 24-26 vengono riportate le planimetrie dei singoli piani dell'edificio.



**Figura 23 – Schema dell'edificio investigato e schema di installazione**

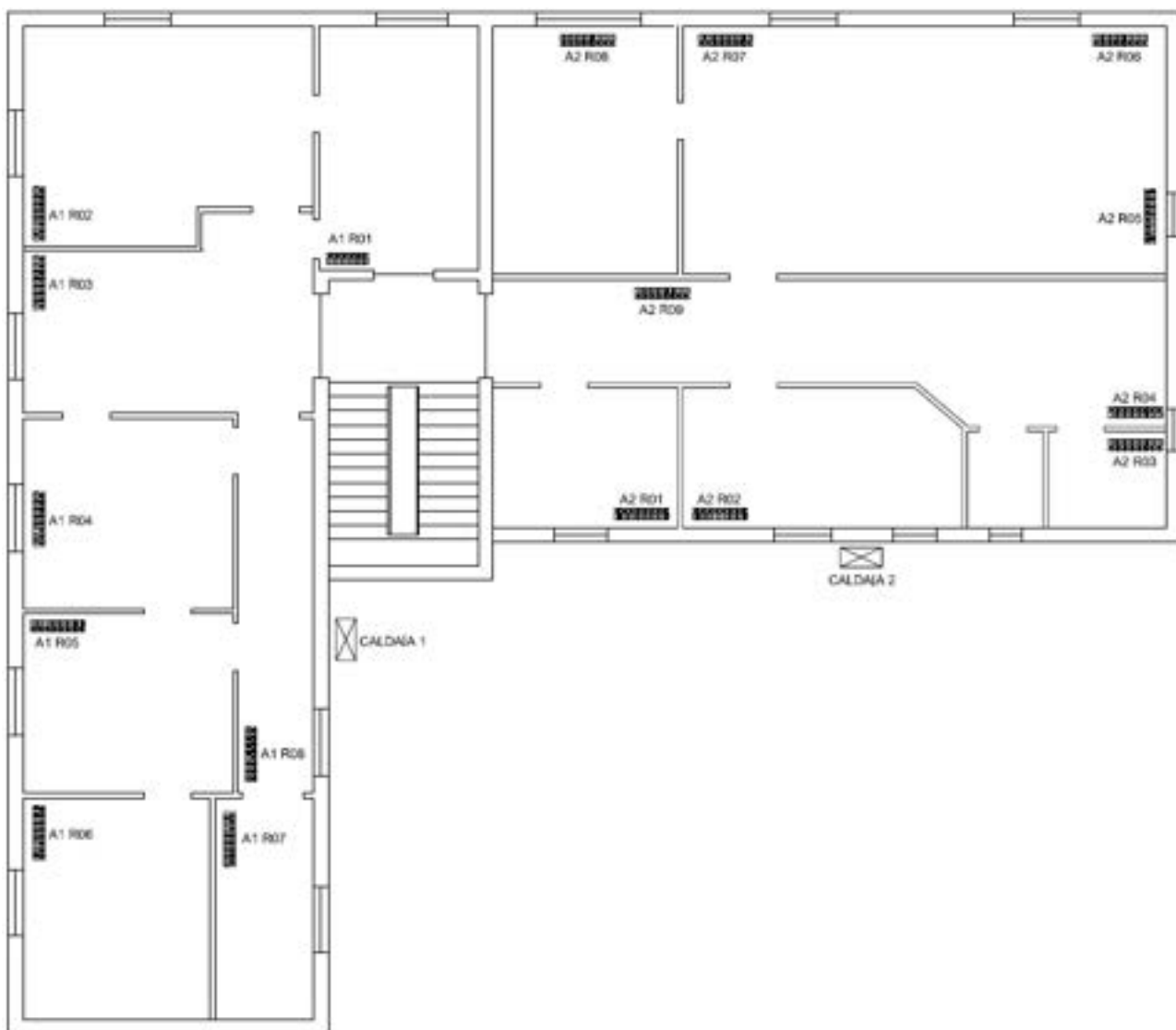
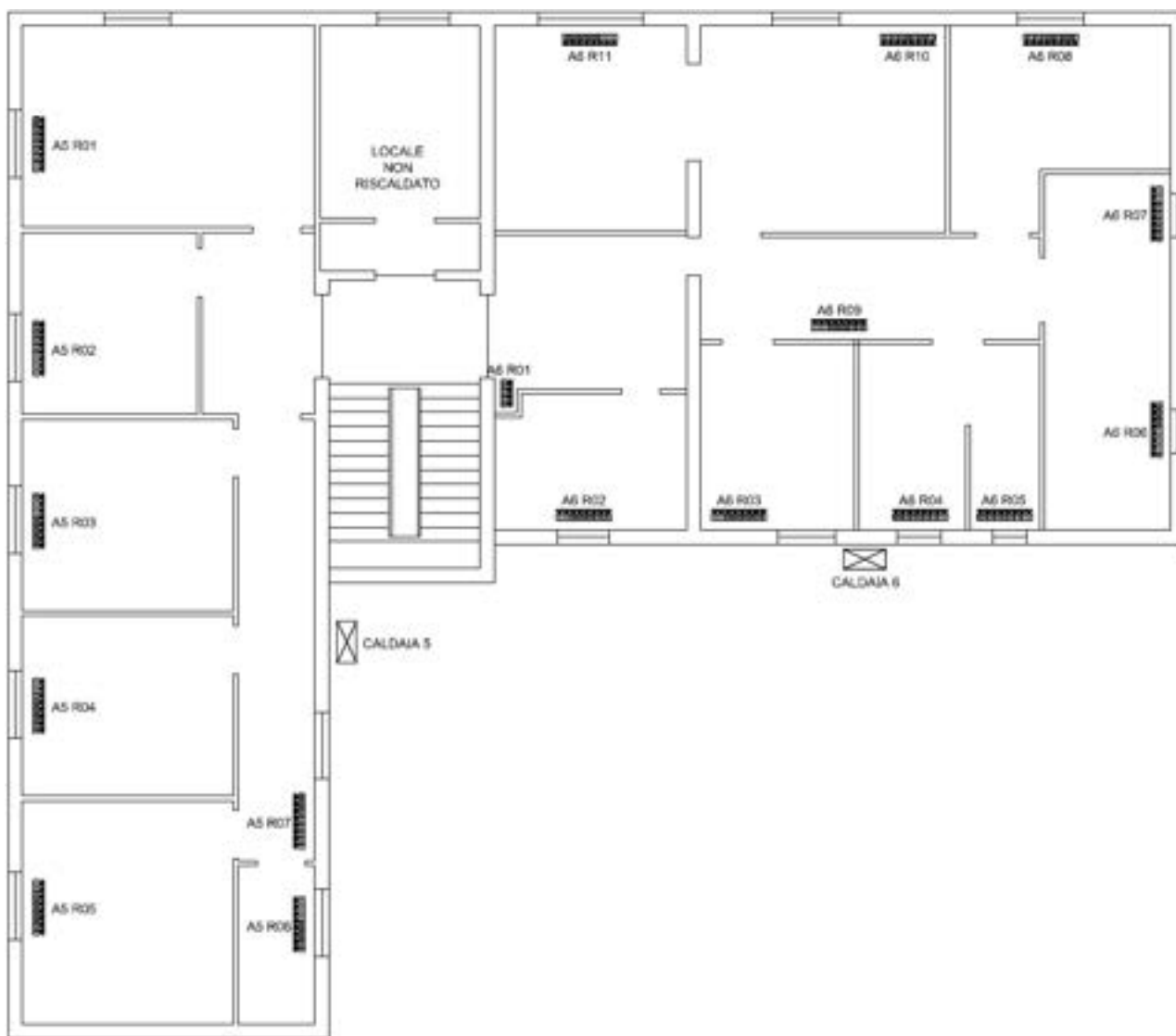


Figura 24 - Planimetria Piano Primo (AP\_1 e AP\_2)



Figura 25: Planimetria Piano Secondo (AP\_3 e AP\_4)



**Figura 26: Planimetria Piano terzo (AP\_5 e AP\_6)**

La valutazione del fabbisogno di energia per la climatizzazione invernale dell'edificio pilota è stata effettuata tenendo conto degli aggiornamenti introdotti dal DM 26 giugno 2015 e dal decreto requisiti minimi, emanato ai sensi dell'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005 e quindi in conformità con le norme tecniche della serie UNI 11300 [14, 15, 16, 17, 27]. E' stata inoltre considerata la Raccomandazione CTI 14/2013 [28].

In Tabella 11 si riporta la situazione riepilogativa delle caratteristiche termofisiche e dei relativi consumi energetici dei singoli appartamenti e dell'intero edificio.

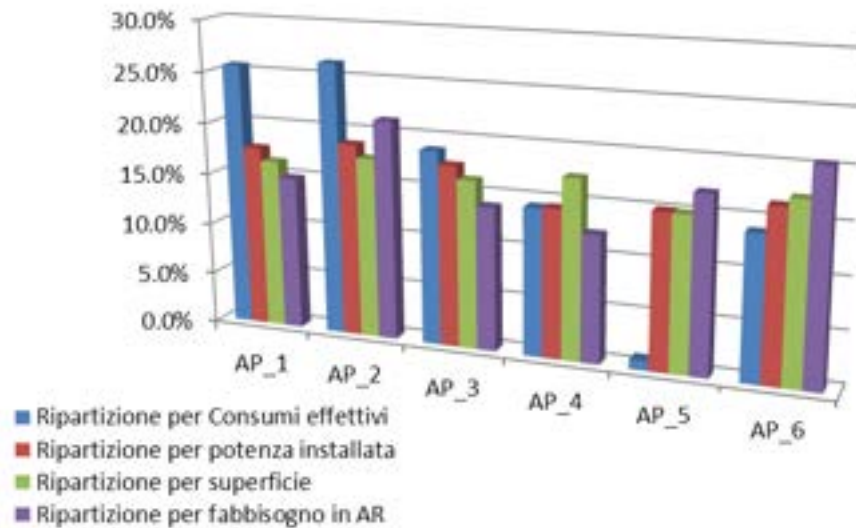
**Tabella 11 – Caratteristiche termofisiche degli appartamenti e fabbisogno di energia stimato**

|   | AP_1  | AP_2  | AP_3  | AP_4  | AP_5  | AP_6  | Edificio |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Numero Vani   | 7     | 8     | 8     | 9     | 8     | 9     | 49       |
| superficie utile (m <sup>2</sup> )                    | 150   | 160   | 149   | 159   | 137   | 158   | 913      |
| Pareti opache verticali disperdenti [m <sup>2</sup> ] | 115.8 | 119.1 | 113.9 | 128.3 | 110.9 | 125.2 | 713.2    |
| Superfici finestrate e balconi [m <sup>2</sup> ]      | 21.6  | 20.6  | 20.6  | 16.7  | 18.6  | 20.6  | 118.6    |
| Pavimenti su locali non riscaldati [m <sup>2</sup> ]  | 0     | 98.7  | 0     | 0     | 0     | 0     | 98.7     |
| Parete verso locali non riscaldati [m <sup>2</sup> ]  | 15.3  | 13.5  | 18.5  | 13.9  | 35.6  | 33.1  | 130      |
| Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K] - finestre          | 4.9   | 4.9   | 4.9   | 4.9   | 2.9   | 2.9   | -        |
| Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K] - pareti opache     | 1.29  | 1.29  | 1.29  | 1.29  | 0.66  | 0.66  | -        |
| Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K] - pavimento         | 1.25  | 1.25  | 1.25  | 1.25  | 1.25  | 1.25  | -        |
| Trasmittanza [W/m <sup>2</sup> K] - solaio            | 1.25  | 1.25  | 1.25  | 1.25  | 1.50  | 1.5   | -        |
| Altezza interpiano [m]                                | 3.6   | 3.6   | 3.6   | 3.6   | 3.6   | 3.6   | -        |
| ore di accensione medie                               | 6     | 6     | 5     | 5     | 0     | 4     | 4.3      |
| fattore medio di riduzione dei consumi                | 60%   | 60%   | 60%   | 60%   | 60%   | 60%   | 60%      |
| potenza radiatori installati (W)                      | 12029 | 12794 | 11975 | 9829  | 10277 | 11262 | 68166    |
| GG <sub>norm</sub> Cassino (°C)                       | 1164  | 1164  | 1164  | 1164  | 1164  | 1164  | 1164     |
| EP <sub>H,nd</sub> [KWh/m <sup>2</sup> ]              | 75.6  | 101.0 | 70.9  | 58.9  | 95.0  | 98.1  | 83.2     |
| Q <sub>p,H</sub> [KWh]                                | 11338 | 16169 | 10591 | 9358  | 12973 | 15533 | 75959    |
| Q <sub>p,H</sub> per GG (kWh/°C)                      | 9.74  | 13.89 | 9.10  | 8.04  | 11.15 | 13.3  | 65.3     |
| Q <sub>p,H</sub> tailored per GG (kWh/°C)             | 5.8   | 8.3   | 5.5   | 4.8   | 6.7   | 8.0   | 39.2     |
| consumo stagionale effettivo (kWh)                    | 8889  | 9158  | 6534  | 4967  | 320   | 4840  | 34708    |
| consumo stagionale effettivo (%)                      | 26%   | 26%   | 19%   | 14%   | 1%    | 14%   | 100%     |
| consumo giornaliero effettivo (kWh)                   | 56    | 58    | 41    | 31    | 2     | 30    | 218      |
| consumo medio mensile eff. (kWh)                      | 1703  | 1754  | 1252  | 951   | 15    | 927   | 6649     |
| GG <sub>eff</sub> Cassino (°C)                        | 1575  | 1575  | 1575  | 1575  | 1575  | 1575  | 1575     |
| consumo stag. eff. per GG (kWh/°C)                    | 5.64  | 5.81  | 4.15  | 3.15  | 0.20  | 3.1   | 22.0     |
| Indice di risparmio (%)                               | 3%    | 30%   | 24%   | 35%   | 97%   | 62%   | 44%      |

Nella successiva Tabella 12 e Figura 27 si riportano le ripartizioni dei consumi in base alla legislazione corrente (e.g. consumi effettivi) ed alle modalità di riparto precedenti all'entrata in vigore del DLgs 102/2014 (e.g. potenza termica installata, fabbisogno termico in AR, superficie utile). Dal confronto dei diversi criteri appare evidente una forte variazione delle percentuali di riparto dei consumi volontari a vantaggio degli appartamenti con minori consumi effettivi durante l'anno (i.e. AP\_5 e AP\_6 che presentano un utilizzo saltuario).

**Tabella 12 – Scenari di ripartizione in base a consumi effettivi, potenza termica installata e superficie**

|                                     | AP_1  | AP_2  | AP_3  | AP_4  | AP_5  | AP_6  | Edificio |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Ripartizione per potenza installata | 17.6% | 18.8% | 17.6% | 14.4% | 15.1% | 16.5% | 100%     |
| Ripartizione per fabbisogno in AR   | 14.9% | 21.3% | 13.9% | 12.3% | 17.1% | 20.4% | 100%     |
| Ripartizione per superficie         | 16.4% | 17.5% | 16.3% | 17.4% | 15.0% | 17.3% | 100%     |
| Ripartizione per consumi effettivi  | 25.6% | 26.4% | 18.8% | 14.3% | 0.9%  | 13.9% | 100%     |



**Figura 27 – Andamento della ripartizione in base a consumi effettivi, potenza termica installata, superficie e fabbisogno termico in Asset Rating**

### 3.2.2 Analisi sperimentale degli indicatori di performance energetica

Gli indici di risparmio definiti al par. 3.1. sono stati valutati sull’edificio pilota per la stagione di riscaldamento 2016-17. In Tabella 13 e Figura 28 si riporta una sintesi dei risultati ottenuti in termini di risparmio globale (dell’edificio) e parziale (degli appartamenti).

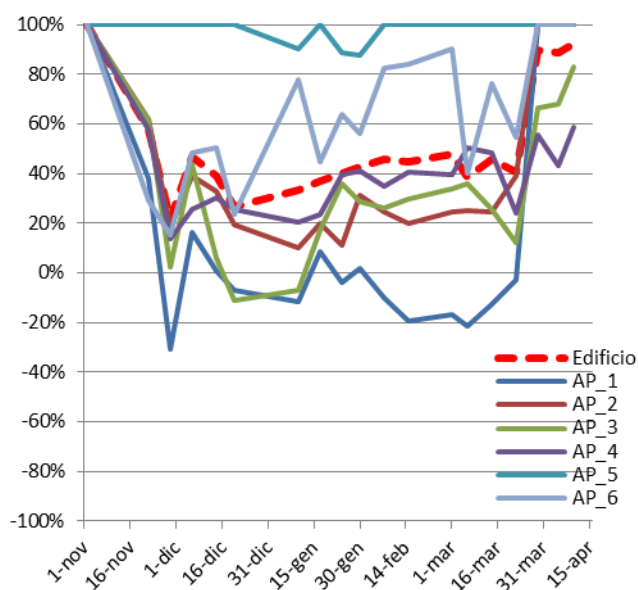
Per quanto concerne il risparmio globale, si registra un consumo di energia primaria per riscaldamento sensibilmente inferiore a quello atteso (pari a circa il 44% con oscillazioni inferiori al 10%), malgrado i consumi di energia attesi siano stati stimati tenendo conto del clima effettivo e di un fattore medio di riduzione dei consumi.

Per quanto attiene invece i risparmi parziali dei singoli appartamenti, è possibile ascrivere la variabilità dei risultati in parte alla propensione al risparmio di alcuni utenti, in parte alla parziale occupazione e in parte alla variabilità dei carichi termici rispetto alle condizioni nominali. In particolare:

- l’appartamento 1 (Figura 29) presenta una dispersione verso locali commerciali al piano terra, nominalmente riscaldati ma in maniera anticiclica rispetto agli orari di riscaldamento tipici dell’appartamento;
- gli appartamenti 2 (Figura 29) e 3 (Figura 30) presentano un risparmio medio del 30% con oscillazioni mensili comprese tra il 10 e il 15%, in funzione della regolarità di occupazione;
- l’appartamento 4 (Figura 30) presenta la maggiore regolarità di occupazione e propensione al risparmio,
- l’appartamento 5 (Figura 31) è stato riscaldato per un periodo molto limitato (indice di risparmio pari al 97%);
- l’appartamento 6 (Figura 31) è stato abitato in maniera saltuaria (indice di risparmio pari al 62%)

**Tabella 13 - Indici di risparmio globale e parziale nell'edificio pilota di Cassino**

|                            | AP_1      | AP_2       | AP_3       | AP_4       | AP_5       | AP_6       | Edificio   |
|----------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| mercoledì 2 novembre 2016  | 100%      | 100%       | 100%       | 100%       | 100%       | 100%       | 100%       |
| martedì 22 novembre 2016   | 38%       | 62%        | 61%        | 57%        | 100%       | 29%        | 57%        |
| martedì 29 novembre 2016   | -31%      | 19%        | 2%         | 14%        | 100%       | 15%        | 22%        |
| martedì 6 dicembre 2016    | 16%       | 39%        | 44%        | 25%        | 100%       | 48%        | 47%        |
| mercoledì 14 dicembre 2016 | 1%        | 33%        | 6%         | 30%        | 100%       | 51%        | 39%        |
| martedì 20 dicembre 2016   | -7%       | 20%        | -11%       | 26%        | 100%       | 23%        | 27%        |
| martedì 10 gennaio 2017    | -12%      | 10%        | -7%        | 21%        | 90%        | 78%        | 33%        |
| martedì 17 gennaio 2017    | 9%        | 20%        | 17%        | 23%        | 100%       | 45%        | 37%        |
| martedì 24 gennaio 2017    | -4%       | 11%        | 36%        | 39%        | 89%        | 64%        | 40%        |
| lunedì 30 gennaio 2017     | 2%        | 31%        | 29%        | 41%        | 88%        | 56%        | 42%        |
| martedì 7 febbraio 2017    | -10%      | 25%        | 26%        | 35%        | 100%       | 82%        | 46%        |
| mercoledì 15 febbraio 2017 | -20%      | 20%        | 30%        | 41%        | 100%       | 84%        | 45%        |
| mercoledì 1 marzo 2017     | -17%      | 24%        | 34%        | 39%        | 100%       | 90%        | 48%        |
| lunedì 6 marzo 2017        | -22%      | 25%        | 36%        | 51%        | 100%       | 40%        | 39%        |
| martedì 14 marzo 2017      | -13%      | 24%        | 26%        | 49%        | 100%       | 76%        | 46%        |
| mercoledì 22 marzo 2017    | -3%       | 39%        | 12%        | 24%        | 100%       | 55%        | 41%        |
| mercoledì 29 marzo 2017    | 100%      | 100%       | 66%        | 56%        | 100%       | 100%       | 90%        |
| mercoledì 5 aprile 2017    | 100%      | 100%       | 68%        | 43%        | 100%       | 100%       | 88%        |
| lunedì 10 aprile 2017      | 100%      | 100%       | 83%        | 59%        | 100%       | 100%       | 92%        |
| <i>Intero periodo</i>      | <i>3%</i> | <i>30%</i> | <i>24%</i> | <i>35%</i> | <i>97%</i> | <i>62%</i> | <i>44%</i> |



**Figura 28 - Andamento degli indici di risparmio parziale e globale nell'edificio pilota di Cassino**

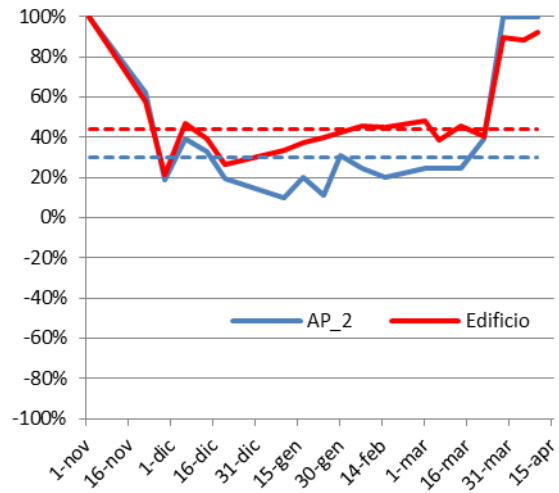
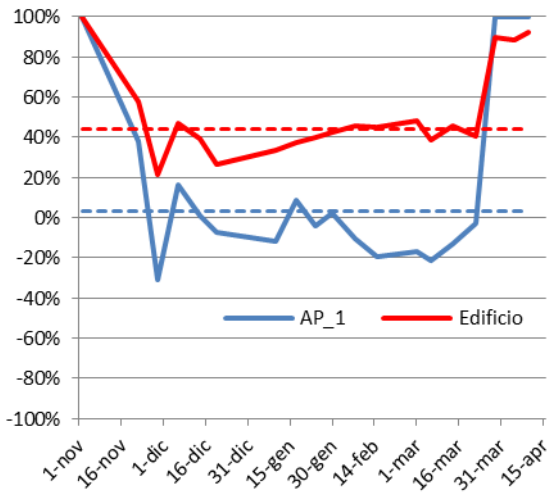


Figura 29 – Andamento degli indici di risparmio parziale (AP\_1 e AP\_2) e globale (edificio)

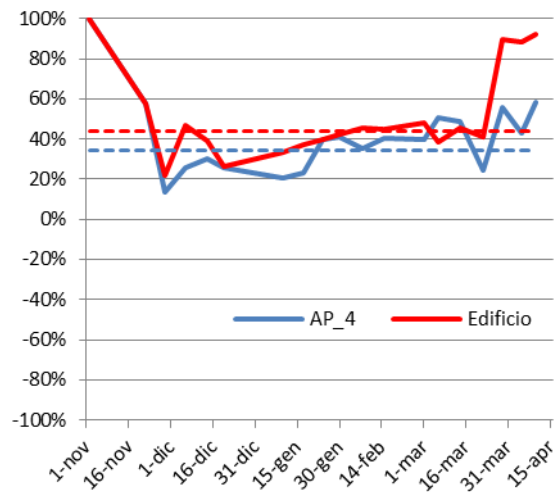
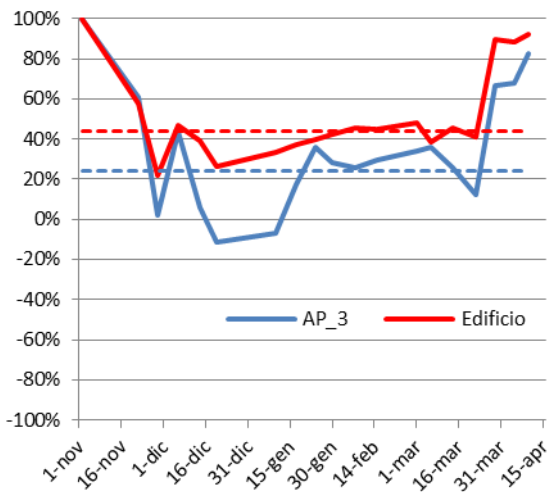


Figura 30 – Andamento degli indici di risparmio parziale (AP\_3 e AP\_4) e globale (edificio)

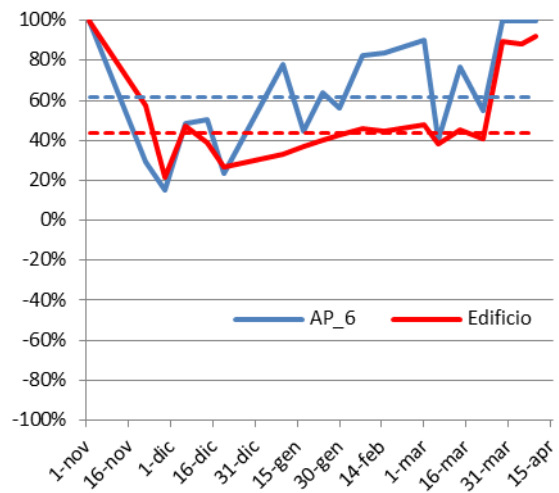
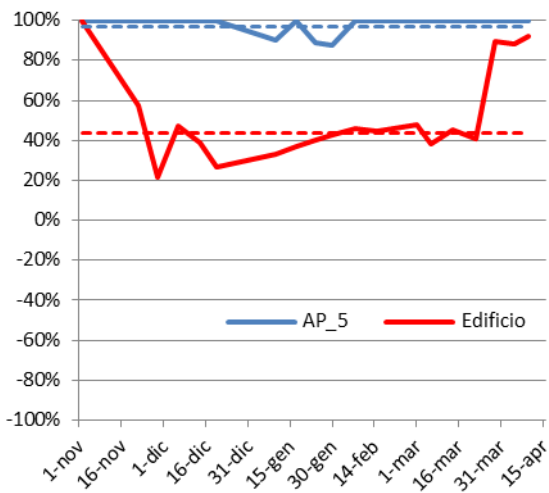


Figura 31 – Andamento degli indici di risparmio parziale (AP\_5 e AP\_6) e globale (edificio)

Come detto, la distribuzione dei consumi ed i relativi indici di risparmio nei singoli ambienti possono essere monitorati facilmente attraverso i sistemi di contabilizzazione indiretta, dando all'utente finale una maggiore consapevolezza dei propri consumi e, nel contempo, la possibilità di valutare e mettere in atto le opportune strategie di riduzione dei consumi energetici.

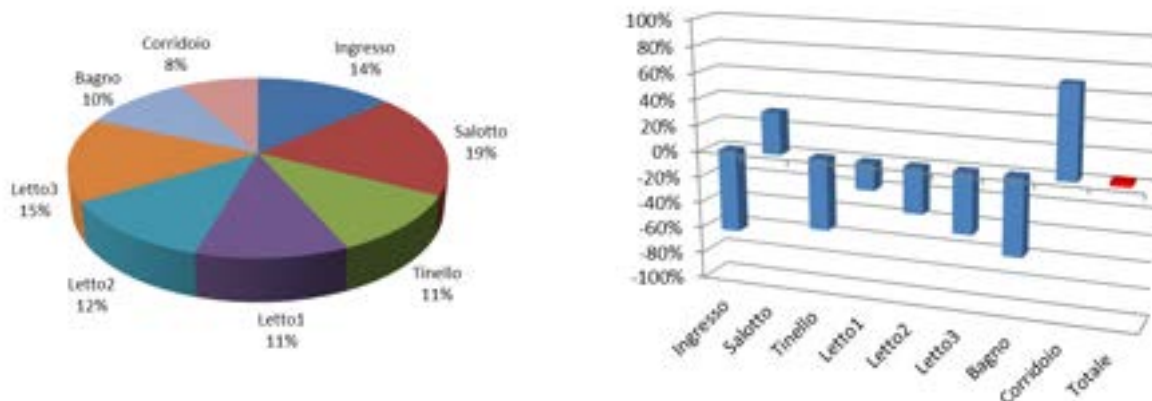
Nelle Tabelle 14-17 e Figure 32-35 sono riportati gli indici di risparmio locale degli appartamenti AP\_1, AP\_2, AP\_3 e AP\_4. I dati relativi agli AP\_5 e AP\_6 non sono stati elaborati a causa del limitato numero di dati e del malfunzionamento dei ripartitori, rispettivamente.

Per quanto attiene i risparmi nei singoli locali, è possibile evidenziare i seguenti aspetti.

Nell'appartamento 1 (Tabella 14 e Figura 32), occupato quasi esclusivamente nelle ore notturne, si riscontra un maggiore consumo dovuto una maggiore dispersione nei locali sovrastanti quelli commerciali al piano terra ed un risparmio limitato alla zona salotto (poco utilizzata) e al corridoio nel quale la porta di accesso al vano scala non è utilizzata.

**Tabella 14 - Analisi degli indici di risparmio locale (AP\_1)**

| AP_1                                      | Ingresso | Salotto | Tinello | Letto1 | Letto2 | Letto3 | Bagno | Corridoio | Totale  |
|---|----------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|-----------|---------|
| superficie utile (m <sup>2</sup> )        | 20.1     | 29.9    | 21.1    | 20.2   | 19.5   | 18.3   | 4.9   | 16.1      | 149.9   |
| potenza radiatori installati (W)          | 1643     | 2403    | 1319    | 1283   | 1319   | 1784   | 1266  | 1010      | 12029   |
| ore di accensione                         | 6        | 6       | 6       | 6      | 6      | 6      | 6     | 6         | 6       |
| fattore medio riduzione consumi           | 60%      | 60%     | 60%     | 60%    | 60%    | 60%    | 60%   | 60%       | 60%     |
| GG <sub>norm</sub> Cassino (°C)           | 1164     | 1164    | 1164    | 1164   | 1164   | 1164   | 1164  | 1164      | 1164    |
| EP <sub>H,nd</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]  | 46.2     | 100.6   | 36.5    | 50.2   | 49.4   | 61.7   | 150.9 | 173.8     | 75.6    |
| Q <sub>p,H</sub> [kWh]                    | 926.0    | 3009.0  | 772.0   | 1014.0 | 962.0  | 1126.0 | 732.0 | 2797.0    | 11338.0 |
| Q <sub>p,H</sub> per GG (kWh/°C)          | 0.80     | 2.59    | 0.66    | 0.87   | 0.83   | 0.97   | 0.63  | 2.40      | 9.74    |
| Q <sub>p,H</sub> tailored per GG (kWh/°C) | 0.5      | 1.6     | 0.4     | 0.5    | 0.5    | 0.6    | 0.4   | 1.4       | 5.8     |
| consumo stagionale effettivo (kWh)        | 1228.6   | 1657.6  | 970.5   | 991.6  | 1051.2 | 1335.9 | 944.0 | 709.6     | 8889.0  |
| consumo stagionale effettivo (%)          | 14%      | 19%     | 11%     | 11%    | 12%    | 15%    | 11%   | 8%        | 100%    |
| consumo giornaliero effettivo (kWh)       | 7.7      | 10.4    | 6.1     | 6.2    | 6.6    | 8.4    | 5.9   | 4.5       | 55.9    |
| consumo medio mensile eff. (kWh)          | 235.4    | 317.5   | 185.9   | 190.0  | 201.4  | 255.9  | 180.8 | 135.9     | 1702.8  |
| GG <sub>eff</sub> Cassino (°C)            | 1575     | 1575    | 1575    | 1575   | 1575   | 1575   | 1575  | 1575      | 1575    |
| consumo stag. eff. per GG (kWh/°C)        | 0.78     | 1.05    | 0.62    | 0.63   | 0.67   | 0.85   | 0.60  | 0.45      | 5.64    |
| indice di risparmio (%)                   | -63%     | 32%     | -55%    | -20%   | -35%   | -46%   | -59%  | 69%       | 3%      |

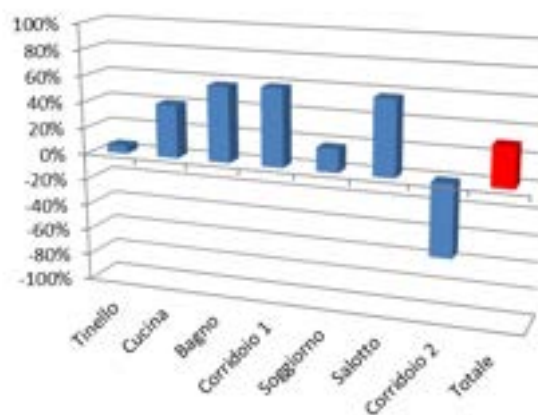


**Figura 32 - Ripartizione dei consumi e del risparmio negli ambienti (AP\_1)**

Nell'appartamento 2 (Tabella 15 e Figura 33), occupato esclusivamente nelle ore diurne, si riscontra una distribuzione molto disuniforme dei consumi, che sono concentrati nella zona pranzo (costituita da un open space molto ampio adibito a sala pranzo-soggiorno). In questo caso le strategie di risparmio sono concentrate nelle zone ausiliarie (tinello, cucina, bagno e corridoio2) e nel salotto (poco utilizzato). Scarsa attenzione viene riservata alla zona corridoio che presumibilmente presenta maggiori consumi a causa di un eccesso di ventilazione.

**Tabella 15 - Analisi degli indici di risparmio locale (AP\_2)**

| AP_2                                      | Tinello | Cucina | Bagno  | Corridoio1 | Soggiorno | Salotto | Corridoio2 | Totale  |
|---|---------|--------|--------|------------|-----------|---------|------------|---------|
| superficie utile (m <sup>2</sup> )        | 7.3     | 18.6   | 4.0    | 16.5       | 61.4      | 22.4    | 29.8       | 160.1   |
| potenza radiatori installati (W)          | 1784    | 1722   | 855    | 855        | 4463      | 1198    | 1918       | 12794   |
| ore di accensione                         | 6       | 6      | 6      | 6          | 6         | 6       | 6          | 6       |
| fattore medio riduzione consumi           | 60%     | 60%    | 60%    | 60%        | 60%       | 60%     | 60%        | 60%     |
| GG <sub>norm</sub> Cassino (°C)           | 1164    | 1164   | 1164   | 1164       | 1164      | 1164    | 1164       | 1164    |
| EP <sub>H,nd</sub> [KWh/m <sup>2</sup> ]  | 220.4   | 140.4  | 481.3  | 114.7      | 77.4      | 100.0   | 37.7       | 101.0   |
| Q <sub>p,H</sub> [KWh]                    | 1607.0  | 2617.0 | 1925.0 | 1893.0     | 4757.0    | 2245.0  | 1125.0     | 16169.0 |
| Q <sub>p,H</sub> per GG (kWh/°C)          | 1.38    | 2.25   | 1.65   | 1.63       | 4.09      | 1.93    | 0.97       | 13.89   |
| Q <sub>p,H</sub> tailored per GG (kWh/°C) | 0.8     | 1.3    | 1.0    | 1.0        | 2.5       | 1.2     | 0.6        | 8.3     |
| consumo stagionale effettivo (kWh)        | 1225.5  | 1264.5 | 666.2  | 631.5      | 3176.5    | 778.9   | 1414.8     | 9158.0  |
| consumo stagionale effettivo (%)          | 13%     | 14%    | 7%     | 7%         | 35%       | 9%      | 15%        | 100%    |
| consumo giornaliero effettivo (kWh)       | 7.7     | 8.0    | 4.2    | 4.0        | 20.0      | 4.9     | 8.9        | 57.6    |
| consumo medio mensile eff. (kWh)          | 234.8   | 242.2  | 127.6  | 121.0      | 608.5     | 149.2   | 271.0      | 1754.3  |
| GG <sub>eff</sub> Cassino (°C)            | 1575    | 1575   | 1575   | 1575       | 1575      | 1575    | 1575       | 1575    |
| consumo stag. eff. per GG (kWh/°C)        | 0.78    | 0.80   | 0.42   | 0.40       | 2.02      | 0.49    | 0.90       | 5.81    |
| indice di risparmio (%)                   | 6%      | 40%    | 57%    | 59%        | 18%       | 57%     | -55%       | 30%     |

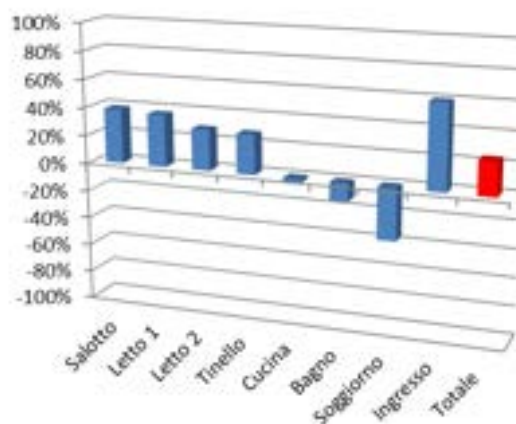
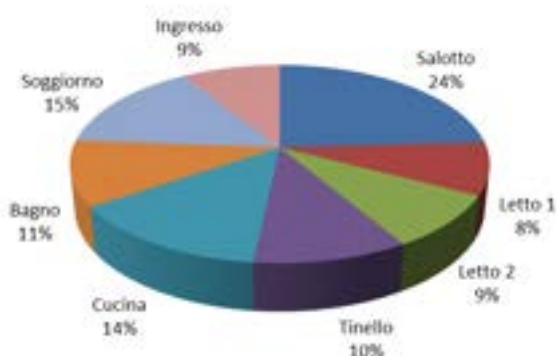


**Figura 33 - Ripartizione dei consumi e del risparmio negli ambienti (AP\_2)**

Nell'appartamento 3 (Tabella 16 e Figura 34) si riscontra una distribuzione uniforme dei consumi, ad eccezione del locale Salotto (sia per la configurazione ad angolo con due pareti disperdenti, sia per la superficie), ed una ridotta variabilità delle strategie di risparmio (che risultano concentrati nei locali Letto e Tinello-Soggiorno). Infine, si riscontra una ridotta propensione al risparmio nei locali più utilizzati (Cucina, Bagno e Pranzo).

**Tabella 16 - Analisi degli indici di risparmio locale (AP\_3)**

| AP_3                                      | Salotto | Letto 1 | Letto 2 | Tinello | Cucina | Bagno | Soggiorno | Ingresso | Totale  |
|---|---------|---------|---------|---------|--------|-------|-----------|----------|---------|
| superficie utile (m <sup>2</sup> )        | 42.2    | 22.3    | 22.8    | 10.1    | 10.4   | 10.9  | 22.3      | 8.5      | 149.3   |
| potenza radiatori installati (W)          | 3591    | 1018    | 1018    | 1172    | 1755   | 1034  | 1368      | 1018     | 11975   |
| ore di accensione                         | 5       | 5       | 5       | 5       | 5      | 5     | 5         | 5        | 5       |
| fattore medio riduzione consumi           | 60%     | 60%     | 60%     | 60%     | 60%    | 60%   | 60%       | 60%      | 60%     |
| GG <sub>norm</sub> Cassino (°C)           | 1164    | 1164    | 1164    | 1164    | 1164   | 1164  | 1164      | 1164     | 1164    |
| EP <sub>H,nd</sub> [KWh/m <sup>2</sup> ]  | 72.6    | 47.7    | 42.4    | 110.8   | 101.4  | 68.3  | 38.3      | 203.9    | 70.9    |
| Q <sub>p,H</sub> [KWh]                    | 3063.0  | 1065.0  | 965.0   | 1114.0  | 1055.0 | 744.0 | 852.0     | 1733.0   | 10591.0 |
| Q <sub>p,H</sub> per GG (kWh/°C)          | 2.63    | 0.91    | 0.83    | 0.96    | 0.91   | 0.64  | 0.73      | 1.49     | 9.10    |
| Q <sub>p,H</sub> tailored per GG (kWh/°C) | 1.6     | 0.5     | 0.5     | 0.6     | 0.5    | 0.4   | 0.4       | 0.9      | 5.5     |
| consumo stagionale effettivo (kWh)        | 1528.5  | 546.1   | 556.9   | 650.4   | 876.7  | 678.2 | 945.1     | 565.7    | 6534.0  |
| consumo stagionale effettivo (%)          | 23%     | 8%      | 9%      | 10%     | 13%    | 10%   | 14%       | 9%       | -       |
| consumo giornaliero effettivo (kWh)       | 9.6     | 3.4     | 3.5     | 4.1     | 5.5    | 4.3   | 5.9       | 3.6      | 41.1    |
| consumo medio mensile eff. (kWh)          | 292.8   | 104.6   | 106.7   | 124.6   | 167.9  | 129.9 | 181.1     | 108.4    | 1251.7  |
| GG <sub>eff</sub> Cassino (°C)            | 1575    | 1575    | 1575    | 1575    | 1575   | 1575  | 1575      | 1575     | 1575    |
| consumo stag. eff. per GG (kWh/°C)        | 0.97    | 0.35    | 0.35    | 0.41    | 0.56   | 0.43  | 0.60      | 0.36     | 4.15    |
| indice di risparmio (%)                   | 39%     | 37%     | 29%     | 28%     | -2%    | -12%  | -37%      | 60%      | 24%     |

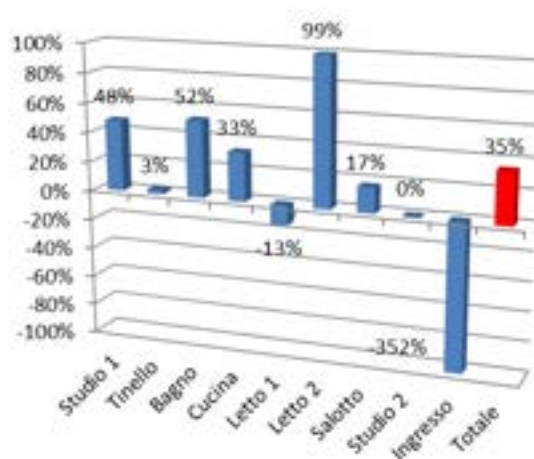
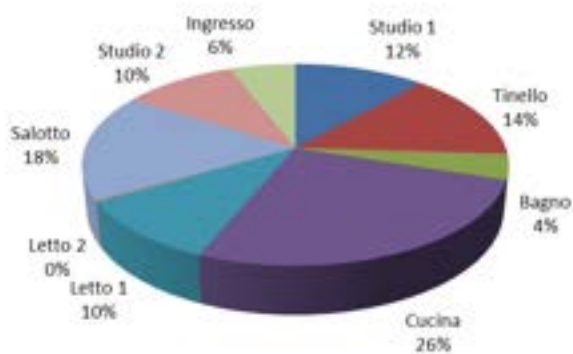


**Figura 34 - Ripartizione dei consumi e del risparmio negli ambienti (AP\_3)**

Nell'appartamento 4 (Tabella 17 e Figura 35) si riscontra una grande variabilità nella distribuzione dei consumi e dei risparmi che denota una differente strategia di risparmio in funzione della tipologia del locale. In particolare: i) nel locale Letto2 la chiusura quasi continuativa del corpo scaldante, ii) nei locali Studio1, Bagno e Cucina la riduzione delle temperature impostate, iii) nel locale Ingresso la assoluta mancanza di controllo dei carichi di ventilazione per l'accesso continuativo ai locali adibiti a Studio. Dall'analisi della ripartizione dei consumi si evince inoltre che il locale più critico in termini di consumi risulta essere la Cucina, sia per la configurazione ad angolo con due pareti disperdenti, sia per la superficie.

**Tabella 17 - Analisi degli indici di risparmio locale (AP\_4)**

| AP_4                                      | Studio 1 | Tinello | Bagno | Cucina | Letto 1 | Letto 2 | Salotto | Studio 2 | Ingresso | Totale |
|---|----------|---------|-------|--------|---------|---------|---------|----------|----------|--------|
| superficie utile (m <sup>2</sup> )        | 16.5     | 15.1    | 7.3   | 18.1   | 6.8     | 14.7    | 41.6    | 25.7     | 13.0     | 158.8  |
| potenza radiatori installati (W)          | 1034     | 1018    | 423   | 2006   | 663     | 1635    | 1154    | 1326     | 570      | 9829   |
| ore di accensione                         | 5        | 5       | 5     | 5      | 5       | 5       | 5       | 5        | 5        | 5      |
| fattore medio riduzione consumi           | 60%      | 60%     | 60%   | 60%    | 60%     | 60%     | 60%     | 60%      | 60%      | 60%    |
| GG <sub>norm</sub> Cassino (°C)           | 1164     | 1164    | 1164  | 1164   | 1164    | 1164    | 1164    | 1164     | 1164     | 1164   |
| EP <sub>H,nd</sub> [KWh/m <sup>2</sup> ]  | 83.2     | 59.3    | 72.0  | 132.1  | 82.4    | 111.1   | 30.8    | 24.1     | 6.1      | 58.9   |
| Q <sub>p,H</sub> [KWh]                    | 1372.0   | 898.0   | 522.0 | 2395.0 | 556.0   | 1637.0  | 1278.0  | 621.0    | 79.0     | 9358.0 |
| Q <sub>p,H</sub> per GG (kWh/°C)          | 1.18     | 0.77    | 0.45  | 2.06   | 0.48    | 1.41    | 1.10    | 0.53     | 0.07     | 8.04   |
| Q <sub>p,H</sub> tailored per GG (kWh/°C) | 0.7      | 0.5     | 0.3   | 1.2    | 0.3     | 0.8     | 0.7     | 0.3      | 0.0      | 4.8    |
| consumo stagionale effettivo (kWh)        | 579.7    | 709.5   | 203.4 | 1305.1 | 510.7   | 6.8     | 859.7   | 502.3    | 289.9    | 4967.0 |
| consumo stagionale effettivo (%)          | 12%      | 14%     | 4%    | 26%    | 10%     | 0%      | 17%     | 10%      | 6%       | -      |
| consumo giornaliero effettivo (kWh)       | 3.6      | 4.5     | 1.3   | 8.2    | 3.2     | 0.0     | 5.4     | 3.2      | 1.8      | 31.2   |
| consumo medio mensile eff. (kWh)          | 111.1    | 135.9   | 39.0  | 250.0  | 97.8    | 1.3     | 164.7   | 96.2     | 55.5     | 951.5  |
| GG <sub>eff</sub> Cassino (°C)            | 1575     | 1575    | 1575  | 1575   | 1575    | 1575    | 1575    | 1575     | 1575     | 1575   |
| consumo stag. eff. per GG (kWh/°C)        | 0.37     | 0.45    | 0.13  | 0.83   | 0.32    | 0.00    | 0.55    | 0.32     | 0.18     | 3.15   |
| indice di risparmio (%)                   | 48%      | 3%      | 52%   | 33%    | -13%    | 99%     | 17%     | 0%       | -352%    | 35%    |



**Figura 35 - Ripartizione dei consumi e del risparmio negli ambienti (AP\_4)**

### 3.2.3 Analisi della seconda annualità dei dati di monitoraggio dei consumi individuali presso l'impianto sperimentale di Cassino

Gli autori hanno infine analizzato i dati di consumo della seconda stagione di riscaldamento successiva all'installazione dei sistemi nell'edificio pilota di Cassino (FR). Di seguito si riportano i dati di consumo registrati nella stagione 2016-17 per piano.

**Tabella 18 - Consumi complessivi e per periodo I Piano (AP\_1 e AP\_2)**

| Intero periodo<br>02 nov 2016 - 10 apr 2017 | gg     | AP_1  |      | AP_2  |      |
|---|--------|-------|------|-------|------|
|   |        | HM    | HCA  | HM    | HCA  |
|   |        | kWh   | UR   | kWh   | UR   |
| mercoledì 2 novembre 2016                   | inizio | 7184  | 0    | 18124 | 0    |
| lunedì 10 aprile 2017                       | fine   | 16073 | 6714 | 27282 | 6337 |
| periodo investigato                         | 159    | 8889  | 6714 | 9158  | 6337 |

| Consumi per periodo        | gg         | AP_1        |             | AP_2        |             |
|----------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                            |            | HM          | HCA         | HM          | HCA         |
|                            |            | kWh         | kWh         | kWh         | kWh         |
| mercoledì 2 novembre 2016  |            | -           | -           | -           | -           |
| martedì 22 novembre 2016   | 20         | 588         | 587         | 513         | 497         |
| martedì 29 novembre 2016   | 7          | 428         | 451         | 380         | 402         |
| martedì 6 dicembre 2016    | 7          | 425         | 408         | 441         | 425         |
| mercoledì 14 dicembre 2016 | 8          | 557         | 540         | 539         | 516         |
| martedì 20 dicembre 2016   | 6          | 479         | 465         | 513         | 494         |
| martedì 10 gennaio 2017    | 21         | 1887        | 1844        | 2171        | 2120        |
| martedì 17 gennaio 2017    | 7          | 606         | 587         | 755         | 750         |
| martedì 24 gennaio 2017    | 7          | 570         | 552         | 697         | 694         |
| lunedì 30 gennaio 2017     | 6          | 423         | 417         | 423         | 419         |
| martedì 7 febbraio 2017    | 8          | 552         | 551         | 537         | 545         |
| mercoledì 15 febbraio 2017 | 8          | 541         | 565         | 515         | 543         |
| mercoledì 1 marzo 2017     | 14         | 888         | 915         | 820         | 856         |
| lunedì 6 marzo 2017        | 5          | 295         | 326         | 260         | 280         |
| martedì 14 marzo 2017      | 8          | 385         | 406         | 368         | 393         |
| mercoledì 22 marzo 2017    | 8          | 265         | 275         | 223         | 224         |
| mercoledì 29 marzo 2017    | 7          | 0           | 0           | 0           | 0           |
| mercoledì 5 aprile 2017    | 7          | 0           | 0           | 0           | 0           |
| lunedì 10 aprile 2017      | 5          | 0           | 0           | 0           | 0           |
| <i>Totale</i>              | <i>159</i> | <i>8889</i> | <i>8889</i> | <i>9155</i> | <i>9158</i> |

**Tabella 19 - Consumi complessivi e per periodo II Piano (AP\_3 e AP\_4)**

| <i>Intero periodo</i><br>02 nov 2016<br>10 apr 2017 | <i>gg</i> | <i>AP_3</i> |            |              | <i>AP_4</i> |            |              |
|---|-----------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
|   |           | <i>HM</i>   | <i>HCA</i> | <i>ITC-T</i> | <i>HM</i>   | <i>HCA</i> | <i>ITC-T</i> |
|   |           | <i>kWh</i>  | <i>UR</i>  | <i>kWh</i>   | <i>kWh</i>  | <i>UR</i>  | <i>kWh</i>   |
| mercoledì 2 novembre 2016                           | inizio    | 5681        | 23         | 0            | 7926        | 27         | 0            |
| lunedì 10 aprile 2017                               | fine      | 12215       | 9667       | 4377         | 12893       | 6573       | 3583         |
| periodo investigato                                 | 159       | 6534        | 9644       | 4377         | 4967        | 6546       | 3583         |

| <i>Consumi per periodo</i> | <i>gg</i>  | <i>AP_3</i> |             |              | <i>AP_4</i> |             |              |
|----------------------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                            |            | <i>HM</i>   | <i>HCA</i>  | <i>ITC-T</i> | <i>HM</i>   | <i>HCA</i>  | <i>ITC-T</i> |
|                            |            | <i>kWh</i>  | <i>kWh</i>  | <i>kWh</i>   | <i>kWh</i>  | <i>kWh</i>  | <i>kWh</i>   |
| mercoledì 2 novembre 2016  |            |             |             |              |             |             |              |
| martedì 22 novembre 2016   | 20         | 344         | 358         | 281          | 333         | 351         | 315          |
| martedì 29 novembre 2016   | 7          | 299         | 323         | 194          | 233         | 256         | 179          |
| martedì 6 dicembre 2016    | 7          | 266         | 247         | 209          | 312         | 314         | 238          |
| mercoledì 14 dicembre 2016 | 8          | 492         | 467         | 337          | 322         | 315         | 254          |
| martedì 20 dicembre 2016   | 6          | 465         | 472         | 257          | 274         | 251         | 201          |
| martedì 10 gennaio 2017    | 21         | 1691        | 1694        | 1106         | 1107        | 1052        | 874          |
| martedì 17 gennaio 2017    | 7          | 512         | 484         | 327          | 419         | 388         | 281          |
| martedì 24 gennaio 2017    | 7          | 328         | 320         | 244          | 274         | 281         | 209          |
| lunedì 30 gennaio 2017     | 6          | 288         | 279         | 198          | 210         | 209         | 138          |
| martedì 7 febbraio 2017    | 8          | 346         | 317         | 240          | 268         | 242         | 184          |
| mercoledì 15 febbraio 2017 | 8          | 297         | 317         | 213          | 222         | 242         | 150          |
| mercoledì 1 marzo 2017     | 14         | 470         | 457         | 345          | 380         | 394         | 275          |
| lunedì 6 marzo 2017        | 5          | 145         | 158         | 108          | 99          | 108         | 63           |
| martedì 14 marzo 2017      | 8          | 237         | 254         | 175          | 145         | 154         | 97           |
| mercoledì 22 marzo 2017    | 8          | 211         | 225         | 141          | 161         | 171         | 89           |
| mercoledì 29 marzo 2017    | 7          | 72          | 84          | 0            | 84          | 99          | 0            |
| mercoledì 5 aprile 2017    | 7          | 49          | 56          | 0            | 77          | 90          | 0            |
| lunedì 10 aprile 2017      | 5          | 22          | 22          | 0            | 47          | 50          | 0            |
| <i>Totale</i>              | <i>159</i> | <i>6534</i> | <i>6535</i> | <i>4377</i>  | <i>4967</i> | <i>4968</i> | <i>3549</i>  |

**Tabella 20 - Consumi complessivi e per periodo III Piano (AP\_5 e AP\_6)**

| <i>Intero periodo</i><br>02 nov 2016<br>10 apr 2017 | <i>gg</i> | <i>AP_5</i> |            |              | <i>AP_6</i> |            |              |
|---|-----------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
|   |           | <i>HM</i>   | <i>HCA</i> | <i>ITC-T</i> | <i>HM</i>   | <i>HCA</i> | <i>ITC-T</i> |
|   |           | <i>kWh</i>  | <i>UR</i>  | <i>kWh</i>   | <i>kWh</i>  | <i>UR</i>  | <i>kWh</i>   |
| mercoledì 2 novembre 2016                           | inizio    | 240         | n.d.       | 0            | 2290        | n.d.       | 0            |
| lunedì 10 aprile 2017                               | fine      | 560         | n.d.       | 260          | 7130        | n.d.       | 4128         |
| periodo investigato                                 | 159       | 320         | n.d.       | 260          | 4840        | n.d.       | 4128         |

| <i>Consumi per periodo</i> | <i>gg</i>  | <i>AP_5</i> |            |              | <i>AP_6</i> |            |              |
|----------------------------|------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
|                            |            | <i>HM</i>   | <i>HCA</i> | <i>ITC-T</i> | <i>HM</i>   | <i>HCA</i> | <i>ITC-T</i> |
|                            |            | <i>kWh</i>  | <i>kWh</i> | <i>kWh</i>   | <i>kWh</i>  | <i>kWh</i> | <i>kWh</i>   |
| mercoledì 2 novembre 2016  |            |             |            |              |             |            |              |
| martedì 22 novembre 2016   | 20         | 0           | n.d.       | 0            | 920         | n.d.       | 778          |
| martedì 29 novembre 2016   | 7          | 0           | n.d.       | 0            | 380         | n.d.       | 320          |
| martedì 6 dicembre 2016    | 7          | 0           | n.d.       | 0            | 360         | n.d.       | 300          |
| mercoledì 14 dicembre 2016 | 8          | 0           | n.d.       | 0            | 380         | n.d.       | 322          |
| martedì 20 dicembre 2016   | 6          | 0           | n.d.       | 0            | 470         | n.d.       | 383          |
| martedì 10 gennaio 2017    | 21         | 190         | n.d.       | 152          | 510         | n.d.       | 424          |
| martedì 17 gennaio 2017    | 7          | 0           | n.d.       | 0            | 500         | n.d.       | 438          |
| martedì 24 gennaio 2017    | 7          | 70          | n.d.       | 47           | 270         | n.d.       | 225          |
| lunedì 30 gennaio 2017     | 6          | 60          | n.d.       | 49           | 260         | n.d.       | 224          |
| martedì 7 febbraio 2017    | 8          | 0           | n.d.       | 0            | 120         | n.d.       | 111          |
| mercoledì 15 febbraio 2017 | 8          | 0           | n.d.       | 0            | 100         | n.d.       | 81           |
| mercoledì 1 marzo 2017     | 14         | 0           | n.d.       | 0            | 100         | n.d.       | 88           |
| lunedì 6 marzo 2017        | 5          | 0           | n.d.       | 0            | 200         | n.d.       | 178          |
| martedì 14 marzo 2017      | 8          | 0           | n.d.       | 0            | 110         | n.d.       | 103          |
| mercoledì 22 marzo 2017    | 8          | 0           | n.d.       | 0            | 160         | n.d.       | 143          |
| mercoledì 29 marzo 2017    | 7          | 0           | n.d.       | 0            | 0           | n.d.       | 7            |
| mercoledì 5 aprile 2017    | 7          | 0           | n.d.       | 10           | 0           | n.d.       | 2            |
| lunedì 10 aprile 2017      | 5          | 0           | n.d.       | 2            | 0           | n.d.       | 0            |
| <i>Totale</i>              | <i>159</i> | <i>320</i>  | <i>0</i>   | <i>260</i>   | <i>4840</i> | <i>0</i>   | <i>4128</i>  |

I risultati dell'analisi metrologica dei consumi sono stati ottenuti applicando la metodologia descritta nel rapporto di ricerca RSE della precedente annualità [23] e sono riportati in Tabella 21, Tabella 22 e Tabella 23.

**Tabella 21 - Analisi degli errori di misura nelle diverse unità immobiliari investigate (scostamenti assoluti)**

| Errori                   | gg | AP_1   |        | AP_2   |        | AP_3   |        | AP_4   |        | AP_5   |        | AP_6   |        |
|--------------------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          |    | HCA-HM | HCA-HM | HCA-HM | ITC-HM | HCA-HM | ITC-HM | HCA-HM | ITC-HM | HCA-HM | ITC-HM | HCA-HM | ITC-HM |
| mer 2 nov 2016           |    | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | n.d.   | -      |
| mar 22 nov 2016          | 20 | -0.3%  | -3.1%  | 4.0%   | -18.4% | 5.3%   | -5.4%  |        |        |        |        | n.d.   | -15.4% |
| mar 29 nov 2016          | 7  | 5.5%   | 5.7%   | 8.1%   | -35.2% | 10.1%  | -23.0% |        |        |        |        | n.d.   | -15.9% |
| mar 6 dic 2016           | 7  | -4.1%  | -3.7%  | -7.3%  | -21.3% | 0.7%   | -23.6% |        |        |        |        | n.d.   | -16.5% |
| mer 14 dic 2016          | 8  | -3.0%  | -4.3%  | -5.0%  | -31.4% | -2.2%  | -21.0% |        |        |        |        | n.d.   | -15.3% |
| mar 20 dic 2016          | 6  | -3.0%  | -3.7%  | 1.6%   | -44.7% | -8.3%  | -26.7% |        |        |        |        | n.d.   | -18.4% |
| mar 10 gen 2017          | 21 | -2.3%  | -2.3%  | 0.2%   | -34.6% | -4.9%  | -21.1% |        |        | -19.9% |        | n.d.   | -17.0% |
| mar 17 gen 2017          | 7  | -3.2%  | -0.7%  | -5.5%  | -36.1% | -7.3%  | -32.9% |        |        |        |        | n.d.   | -12.3% |
| mar 24 gen 2017          | 7  | -3.1%  | -0.5%  | -2.3%  | -25.7% | 2.5%   | -23.7% |        |        | -33.3% |        | n.d.   | -16.6% |
| lun 30 gen 2017          | 6  | -1.4%  | -0.9%  | -3.1%  | -31.2% | -0.6%  | -34.2% |        |        | -17.8% |        | n.d.   | -13.8% |
| mar 7 feb 2017           | 8  | -0.2%  | 1.5%   | -8.4%  | -30.6% | -9.7%  | -31.3% |        |        |        |        | n.d.   | -7.5%  |
| mer 15 feb 2017          | 8  | 4.5%   | 5.5%   | 6.7%   | -28.2% | 9.0%   | -32.4% |        |        |        |        | n.d.   | -18.7% |
| mer 1 mar 2017           | 14 | 3.0%   | 4.3%   | -2.8%  | -26.6% | 3.6%   | -27.5% |        |        |        |        | n.d.   | -12.4% |
| lun 6 mar 2017           | 5  | 10.4%  | 7.8%   | 8.9%   | -25.3% | 8.8%   | -35.9% |        |        |        |        | n.d.   | -11.1% |
| mar 14 mar 2017          | 8  | 5.6%   | 6.8%   | 7.2%   | -26.0% | 6.2%   | -32.9% |        |        |        |        | n.d.   | -6.1%  |
| mer 22 mar 2017          | 8  | 3.9%   | 0.4%   | 6.6%   | -33.2% | 6.0%   | -44.8% |        |        |        |        | n.d.   | -10.8% |
| mer 29 mar 2017          | 7  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | n.d.   |        |
| mer 5 apr 2017           | 7  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | n.d.   |        |
| lun 10 apr 2017          | 5  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | n.d.   |        |
| <b>Errore sul Totale</b> |    |        |        |        | -33.0% |        | -28.5% |        |        | -18.7% |        |        | -14.7% |
| <b>Errore medio</b>      |    | 0.8%   | 0.9%   | 0.6%   |        | 1.3%   |        |        |        |        |        |        |        |

**Tabella 22: Analisi per piano della ripartizione dei consumi (sistemi omogenei)**

| Piano 1   | HM    |        | HCA   |        | HCA-HM |  |
|-----------|-------|--------|-------|--------|--------|--|
|           | kWh   | %      | UR    | %      | %      |  |
| AP_1+AP_2 | 18047 | 100.0% | 13051 | 100.0% | -      |  |
| AP_1      | 8889  | 49.3%  | 6714  | 51.4%  | 2.2%   |  |
| AP_2      | 9158  | 50.7%  | 6337  | 48.6%  | -2.2%  |  |

| Piano 2   | HM    |        | HCA   |        | ITC-TC |        | HCA-HM |  | ITC-HM |  |
|-----------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--|
|           | kWh   | %      | UR    | %      | kWh    | %      | %      |  | %      |  |
| AP_3+AP_4 | 11501 | 100.0% | 16190 | 100.0% | 7960   | 100.0% | -      |  | -      |  |
| AP_3      | 6534  | 56.8%  | 9644  | 59.6%  | 4377   | 55.0%  | 2.8%   |  | -1.8%  |  |
| AP_4      | 4967  | 43.2%  | 6546  | 40.4%  | 3583   | 45.0%  | -2.8%  |  | 1.8%   |  |

| Piano 3   | HM   |        | HCA  |      | ITC-TC |        | HCA-HM |  | ITC-HM |  |
|-----------|------|--------|------|------|--------|--------|--------|--|--------|--|
|           | kWh  | %      | UR   | %    | kWh    | %      | %      |  | %      |  |
| AP_5+AP_6 | 5160 | 100.0% | n.d. | n.d. | 4388   | 100.0% | -      |  | -      |  |
| AP_5      | 320  | 6.2%   | n.d. | n.d. | 260    | 5.9%   | n.d.   |  | -0.3%  |  |
| AP_6      | 4840 | 93.8%  | n.d. | n.d. | 4128   | 94.1%  | n.d.   |  | 0.3%   |  |

**Tabella 23: Analisi della ripartizione dei consumi II e III Piano (sistemi omogenei)**

|      | <i>HM</i>  |        | <i>ITC</i> |        | <i>ITC-HM</i> |
|------|------------|--------|------------|--------|---------------|
|      | <i>kWh</i> | %      | <i>kWh</i> | %      | %             |
| ΣAP  | 16661      | 100.0% | 12348      | 100.0% | -25.9%        |
| AP_3 | 6534       | 39.2%  | 4377       | 35.4%  | -3.8%         |
| AP_4 | 4967       | 29.8%  | 3583       | 29.0%  | -0.8%         |
| AP_5 | 320        | 1.9%   | 260        | 2.1%   | 0.2%          |
| AP_6 | 4840       | 29.0%  | 4128       | 33.4%  | 4.4%          |

Le prestazioni di misura sono sostanzialmente confermate rispetto ai risultati della sperimentazione del primo anno, e si può considerare che:

- lo scostamento tra HM e HCA è pari a 2.2% (appartamenti del primo piano), 2.8% (appartamenti del secondo piano);
- numerosi HCA installati negli appartamenti del terzo piano hanno mostrato problemi di affidabilità relativi alle batterie, per cui i dati di consumo non sono stati analizzati;
- lo scostamento tra HM e ITC-TC nei 4 appartamenti del secondo e terzo piano è variabile tra -3.8% e +4.4%.

## 4 Conclusioni

Gli autori, in base all'analisi dei dati sperimentali relativi ai consumi energetici per riscaldamento di 3047 appartamenti in 50 edifici, hanno stimato un beneficio medio a livello nazionale conseguente all'installazione di sistemi di contabilizzazione individuale del calore e di termoregolazione pari a circa 11%, come somma di un beneficio nel primo anno dopo l'installazione pari a 8.7% e nel secondo anno di 2.3%, dimostrando che l'efficacia di tale azione aumenta con il coinvolgimento e la consapevolezza degli utenti.

Sebbene il beneficio stimato negli edifici in regioni aventi clima mediterraneo sia assolutamente inferiore rispetto a quelli con clima continentale, il beneficio percentuale risulta più elevato grazie al contributo rilevante degli apporti solari ed alla conseguente maggiore efficacia dei sistemi di termoregolazione.

Gli autori hanno sviluppato un modello per la previsione dei consumi energetici del settore residenziale (regionale e nazionale) per riscaldamento. Il modello sviluppato ha consentito di valutare con una buona precisione (inferiore al 2%) il potenziale risparmio energetico connesso all'installazione di sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione, tenendo conto del vincolo di fattibilità economica previsto dalla direttiva europea 2012/27/UE, e dei diversi scenari di incentivazione fiscale applicabili (ossia 0-50-65% dei costi sostenuti) nonché dei diversi approcci per la stima dei consumi energetici (i.e. operational ed asset rating).

Dall'analisi effettuata sono emerse alcune interessanti osservazioni circa l'efficacia dei sistemi di contabilizzazione individuale e di termoregolazione introdotta dal D.Lgs. 102/2014 e s.m.i. a livello nazionale e regionale. In particolare, quasi tutte le regioni meridionali potrebbero essere esentate dall'installazione di sistemi di contabilizzazione e termoregolazione, mentre, grazie all'applicazione degli incentivi fiscali, nelle regioni del Centro/Nord il risparmio energetico potenziale risulterebbe significativo.

L'applicazione del modello ha consentito di stimare un potenziale risparmio energetico connesso all'installazione dei sistemi di contabilizzazione e termoregolazione negli edifici residenziali in Italia compreso tra 0,072 e 0,410 Mtep/anno (i.e. tra 0,3 e 1,9% dei consumi per riscaldamento).

Gli autori ritengono che i risultati presentati in questo documento potrebbero essere utili per definire e supportare le politiche nazionali da adottare per la diffusione e l'uso efficace dei sistemi di contabilizzazione e di termoregolazione. In particolare:

- in una ottica di regolazione, l'obbligo di installazione di sistemi di contabilizzazione e termoregolazione è pressochè inefficace nelle regioni meridionali indipendentemente dagli incentivi applicabili;
- la variazione degli incentivi fiscali tra il 50% e il 65% dei costi sostenuti non altera significativamente le prospettive di risparmio energetico;
- nella valutazione della fattibilità economica, l'obbligo di installazione basato sui consumi effettivi (i.e. in condizioni di operational rating), oltre a presentare una aleatorietà connessa al grado di occupazione dell'edificio, riduce significativamente l'impatto della misura rispetto all'obbligo basato sui consumi nelle condizioni di riferimento (i.e. in condizioni di asset rating).

Per quanto concerne le potenzialità e le criticità dei sistemi di contabilizzazione nel secondo anno di sperimentazione sull'edificio pilota di Cassino, si rileva che:

- è possibile utilizzare i sistemi di contabilizzazione indiretta per valutare puntualmente i consumi energetici attraverso l'uso di indici di risparmio globali (sull'intero edificio), parziali (sui singoli appartamenti) e locali (nei singoli ambienti) e rendere maggiormente consapevoli gli utenti finali;
- l'analisi degli indici di risparmio applicata all'edificio pilota di Cassino ha mostrato l'efficacia del monitoraggio dei consumi consentendo l'individuazione delle criticità in termini di sovraconsumi energetici e nel contempo di individuare gli appartamenti e i locali maggiormente energivori;

- le prestazioni metrologiche dei diversi sistemi di contabilizzazione indiretta valutate nel primo anno di installazione sono sostanzialmente confermate;
- sono stati riscontrati alcuni problemi di affidabilità in campo (decadimento delle batterie e necessità di riprogrammazione/sostituzione) per i ripartitori di calore installati in due degli appartamenti investigati che confermano la necessità di procedere a verifiche periodiche ed alla definizione ed implementazione di idonee politiche di tutela dell'utenza.

## 5 Bibliografia

- [1] L. Celenza, M. Dell'Isola, G. Ficco, M. Greco e M. Grimaldi, «Economic and technical feasibility of metering and sub-metering systems for heat accounting,» *International Journal of Energy Economics Efficiency*, 2016.
- [2] T. Cholewa e A. Siuta-Olcha, «Long term experimental evaluation of the influence of heat cost allocators on energy consumption in a multifamily building,» *Energy and Buildings*, 2015.
- [3] S. Siggelsten, «Reallocation of heating costs due to heat transfer between adjacent apartments,» *Energy and Buildings*, vol. 75, n. 256-273, p. 256–263, 2014.
- [4] I. Ballarini, S. P. Corgnati e V. Corrado, «Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project,» n. 68, 2014.
- [5] E. Dascalaki, K. G. Droutsas e A. Constantino, *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 3400-3409., 2011.
- [6] T. Loga, B. Stein e N. Diefenbach, «TABULA building typologies in 20 European countries-Making energy-related features of residential building stocks comparable,» *Energy and Buildings*, vol. 132, pp. 4-12, 2016.
- [7] ISTAT, «Censimento Popolazione Abitazioni,» 2011. [Online]. Available: <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?lang=it>.
- [8] ODYSSEE database, «Energy Efficiency Trends and Policy - ODYSSEE - MURE,» [Online]. Available: <http://odyssee.enerdata.net/database/>.
- [9] EUROSTAT, «eurostat - your key to European statistics,» [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.
- [10] F. Margiotta e G. Puglisi, «Caratterizzazione del parco edilizio nazionale Determinazione dell'edificio tipo per uso ufficio,» ENEA, 2009.
- [11] I. Ballarini, V. Corrado, F. Madonna, S. Paduos e F. Ravasio, «Energy refurbishment of the Italian residential building stock: energy and cost analysis through the application of the building typology,» 2017.
- [12] V. Corrado, I. Ballarini e S. P. Corgnati, «Building Typology Brochure – Italy Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana,» Politecnico di Torino – Dipartimento Energia; Gruppo di Ricerca TEBE, Torino, 2014.
- [13] Ministero dello Sviluppo Economico, *Decreto Ministeriale 26/6/2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*.
- [14] UNI/TS 11300-1:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, Milano: UNI, 2014.
- [15] UNI/TS 11300-2:2014. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, Milano: per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali. UNI, 2014.
- [16] UNI/TS 11300-3:2010. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva, Milano: UNI, 2010.
- [17] UNI/TS 11300-4:2012. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, Milano: UNI, 2012.
- [18] ENEA, «OSSERVATORIO POLITICHE ENERGETICO-AMBIENTALI,» [Online]. Available: <http://enerweb.casaccia.enea.it/enearegioni/UserFiles/Pianienergetici/pianienergetici.htm>.
- [19] UNI EN 15459:2008. Prestazione energetica degli edifici - Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici, Milano: Ente Nazionale Italiano di unificazione, 2008.
- [20] AEEGSI, 252/2016/R/TLR, REGOLAZIONE IN MATERIA DI OBBLIGHI DI FORNITURA E INSTALLAZIONE DI SISTEMI DI MISURA NEL SETTORE DEL TELERISCALDAMENTO E DEL TELERAFFRESCAMENTO, 2016.
- [21] AiCARR Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione, *La fattibilità*

*tecnico-economica dei sistemi di contabilizzazione dei consumi di energia termica.*, 2017.

- [22] Empirica GmbH, *Guidelines on good practice in cost-effective cost allocation and billing of individual consumption of heating, cooling and domestic hot water in multi-apartment and multi-purpose buildings.*, 2016.
- [23] M. Dell'Isola, P. Vigo, G. Ficco e L. Celenza, «Sperimentazione e caratterizzazione metrologica dei sistemi di misura per la contabilizzazione e ripartizione del calore,» Report Ricerca Sistema Elettrico, 2016.
- [24] *UNI 10200:2015, Impianti termici centralizzati di climatizzazione invernale e produzione di acqua calda sanitaria - Criteri di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale ed acqua calda sanitaria*, Milano: Ente nazionale di Unificazione, 2015.
- [25] *Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n. 102, Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.*, Gazzetta Ufficiale n. 165 del 18/7/2014., 2014.
- [26] Efficiency Evaluation Organisation (EVO), *International Performance Measurement Verification Protocol*, EVO 1000-1:2014, edizione giugno 2004. at: [www.evo-wold.org](http://www.evo-wold.org), 2014.
- [27] *Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio*, Raccomandazione CTI 14/2013.
- [28] CTI Comitato Termotecnico Italiano, *14:2013, Raccomandazione - Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione della prestazione energetica per la classificazione dell'edificio.*

## 6 Abbreviazioni ed acronimi

|                  |  |
|------------------|--|
| AEEGSI           | Autorità per l'Energia Elettrica, il Gas ed il Sistema Idrico  |
| D.Lgs.           | Decreto legislativo  |
| D.P.R.           | Decreto del Presidente della Repubblica  |
| DICEM            | Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale                                   |
| DM               | Decreto Ministeriale   |
| EED              | Direttiva Europea sull'efficienza energetica   |
| HCA              | Ripartitore di calore  |
| HM               | Contatore di energia termica   |
| ITC-TC           | Sistema di contabilizzazione del calore basato sui tempi di inserzione compensati con la temperatura media del fluido termovettore |
| $f_x$            | fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti;   |
| $H_T$            | coefficiente globale di scambio termico per trasmissione , W/K   |
| $H_V$            | coefficiente globale di scambio termico per ventilazione , W/K   |
| $Q_{int}$        | apporto gratuito interno dell'edificio, kWh  |
| $Q_{sol}$        | apporto solare termico attraverso l'edificio, kWh  |
| $S_{floor}$      | superficie utile, m <sup>2</sup>   |
| $\eta_{glob}$    | rendimento globale del sistema di riscaldamento  |
| $EP_{H,nd}$      | Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento, kWh/m <sup>2</sup>   |
| $GG$             | Gradi Giorno, °C   |
| $GG_{eff.}$      | Gradi Giorno effettivi, °C   |
| $GG_{norm.}$     | Gradi Giorno da normativa, °C  |
| $IR_{gl}$        | Indice di risparmio globale (edificio), %  |
| $IR_l$           | Indice di risparmio locale (singolo ambiente), %   |
| $IR_p$           | Indice di risparmio parziale (appartamento), %   |
| $Q_{P,H}$        | Energia primaria per riscaldamento, kWh  |
| $(Q_{P,H})_{OR}$ | Energia primaria in condizioni di operational rating, kWh  |
| $(Q_{P,H})_{TR}$ | Energia primaria in condizioni di tailored rating, kWh   |
| $FR$             | fattore medio di riduzione dei consumi, %  |
| $S$              | Superficie, m <sup>2</sup>   |