POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in

Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Utilizzo di Sistemi Smart nel processo di Contabilizzazione del Calore

Introduzione di una Piattaforma IoT per il monitoraggio di utenze domestiche

Relatore

Prof. Marco Carlo Masoero

Tutor Aziendale

Ing. Biagio Di Pietra

Candidato

Claudio La Grassa

Anno Accademico 2019/2020

A Elena e alla mia Famiglia
Con Amore

INDICE

1. QUADRO NORMATIVO 11

1.1. Legge 373 del 1976 11

1.2. Legge 10/1991 11

1.3. D.P.R. 412/93 (con modifiche del DPR 551/99 e integrazioni del DPR 73/2013) 12

1.4. D.P.R 59 del 2009 12

1.5. Direttiva 2012/27/UE del 25 ottobre 2012 13

1.6. D.Lgs. 102/2014 (e successive modifiche apportate dal D.Lgs. 141/2016) 13

1.7. UNI 10200:2018 15

1.7.1. Determinazione consumo involontario totale – contabilizzazione indiretta 16

1.7.2. Controllo della Qualità delle letture da contabilizzazione indiretta 18

2. ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE 23

2.1. Contabilizzazione Indiretta del Calore 24

2.1.1. Ripartitori di Calore 25

2.1.2. Sistemi ITC-TC 26

2.1.3. Valvole Termostatiche 28

2.1.4. Termo-Autonomo Wireless 30

3. ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI 36

3.1. Utenza 1 Torino 36

3.2. Utenze 2 Torino 39

3.3. Condominio Milano 43

3.4. Condominio ad Occupazione Saltuaria Brusson (AO) 45

3.5. Condominio ad Occupazione Saltuaria Pila (AO) 47

3.6. Scuola Milano 49

3.7. Considerazioni Riassuntive 51

4. TERMOREGOLAZIONE E CONTABILIZZAZIONE "SMART" 52

4.1. Transizione Normativa – Verso la Contabilizzazione "Intelligente" 54

4.1.1. Direttiva Europea 2018/2002 54

4.1.2. Direttiva Europea 2018/844 e lo "Smart Readiness Indicator" 55

4.2. Attività di Progettazione Sistema "Smart" 58

4.2.1. Descrizione Piattaforma IoT 58

4.2.2. Definizione Indici Qualitativi e logiche di monitoraggio 63

4.3. Risultati Monitoraggio Condominio Milano 69

4.3.1. Dati disponibili dal software SWC 701 70

4.3.2. Caricamento Condominio su Piattaforma IoT 73

4.3.3. Indici Qualitativi Edificio Milano 76
4.3.4. Risultati Indici 81
4.4. Valutazione Economica Sistema “Smart” 84
4.4.1. Sistema 1 – Anagni 18 C 85
4.4.2. Sistema 2 – Anagni 18 B 88
4.4.3. Sistema 3 – Ceprano 90
4.4.4. Sistema 4 – Milano 92
CONCLUSIONI 95
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 97

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-Impieghi finali dell'energia per settore nel 2017 e 1990 7
Figura 2-Statistica Anno di Costruzione Edifici Residenziali 8
Figura 3-Usi energetici nel settore residenziale 8
Figura 4-Perdite volontarie e involontarie in un edificio provvisto di caldaia centralizzata e distribuzione a colonne montanti 15
Figura 5-Frazione del consumo involontario a piena utilizzazione 17
Figura 6-Esempio di calcolo della frazione di consumo involontario nell'intervallo "uso ridotto" 18
Figura 7-Caso senza anomalie e Caso con anomalie 19
Figura 8-Parametri Cusum 20
Figura 9-Foglio di inserimento dati di input 21
Figura 10-Elaborazione Cusum 21
Figura 11-Andamento del $q_{UR,t}$ e della somma cumulata degli scarti quadratici 22
Figura 12-Diagramma Controllo Accuratezza e diagramma controllo precisione 22
Figura 13-Impianto a distribuzione verticale e orizzontale a zone 23
Figura 14 - Ripartitore di Calore 25
Figura 15-Sistema ITC-TC 26
Figura 16-Valvole termostatiche con regolazione manuale 28
Figura 17-Esempio Testina Elettronica 29
Figura 18-Sistema con regolazione a portata variabile e portata costante 29
Figura 19-Architettura Sistema TAW 31
Figura 20-Regolatore/Servomotore e Telecomando 31
Figura 21Unità di Pianerottolo UPX, Unità di Controllo Centrale UCX e Modem GSM 32
Figura 22-Interfaccia principale del software SWC 34
Figura 23-Panoramica dello stato di utilizzo del sistema nel singolo appartamento 34
Figura 24-Energia fornita dal generatore sulla base dei flussi di richiesta inviati dall'utenza 35
Figura 25-Storico Consumi Utente "Sensibilizzato" 38
Figura 26-Storico Consumi Utente "Disattento" 39
Figura 27- Valutazione Risparmi condomini Utenze 2 Torino 41
Figura 28-Analisi Consumi Condominio Milano 43
Figura 29-Analisi Consumi Condominio Brusson 45
Figura 30-Condominio Pila 47
Figura 31-Analisi Condominio Pila 48
Figura 32-Scuola Milano 49
Figura 33-Analisi Consumi Scuola Milano 1 49
Figura 34-Analisi Consumi Scuola Milano 2 50
Figura 35-Applicazioni IoT per appartamento 52
Figura 36-Lettura Visiva, walk-by e con sistema GSM 55
Figura 37-Domini di applicazione dello SRI 56
Figura 38-Criteri di impatto 56
Figura 39-Esempio 1 calcolo SRI 56
Figura 40-Esempio 2 calcolo SRI 57
Figura 41-Pagina Accesso Portale MCC 58
Figura 42-Pagina Principale MCC 59
Figura 43-Letture Condominio 59
Figura 44-Consumi condominio Totale 60
Figura 45-Visualizzazione per singolo utente 60

Figura 46-Fase di caricamento letture su MCC 61
Figura 47-Consumi singolo appartamento 61
Figura 48-Totale Spese MCC 62
Figura 49-Ripartizione Spese servizio di Riscaldamento 62
Figura 50-Indice di consumo ENEA 68
Figura 51-Registrazioni Unità Centrale Condominio 70
Figura 52-Registrazioni Giornaliere Unità Centrale 70
Figura 53-Registrazioni Annuali Unità Centrale 71
Figura 54-Registrazioni Giornaliere Appartamento Piano Terra 71
Figura 55-Stati e misure radiatori appartamento piano terra 72
Figura 56-Programma di Riscaldamento Appartamento Piano Terra 72
Figura 57-Consumi Consuntivati Piano Terra 72
Figura 58-Regolazione Climatica 73
Figura 59-Template Consumi Piano Primo 73
Figura 60-Fase di Creazione del Condominio 74
Figura 61-Grafo Condominio Milano 74
Figura 62-Confronto UR per stagioni caricate 75
Figura 63-PA uso mensili Appartamento Secondo Piano (valore medio mensile) 75
Figura 64-PA uso giornalieri mese Dicembre (Piano Primo) 75
Figura 65-Nuovi Programmi Giornalieri "Piano Rialzato" 76
Figura 66-Andamento Indice di Risparmio Giornaliero stagione 2019/2020 (Piano Rialzato) 78
Figura 67- IG_1^* Piano Rialzato con info-grafica 81
Figura 68- IG_2^* Piano Rialzato con info-grafica 81
Figura 69 - IG_1^* Piano Primo con info-grafica 82
Figura 70 - IG_2^* Piano Primo con info-grafica 82
Figura 71 - IG_1^* Piano Secondo con info-grafica 82
Figura 72 - IG_2^* Piano Secondo con info-grafica 83
Figura 73-Edificio Anagni 18 C 85
Figura 74-Informazioni Generali Edificio Anagni 18 C 86
Figura 75-Inserimento Costi Anagni 18 C 87
Figura 76-VAN Anagni 18 C 87
Figura 77-Edificio Anagni 18 B 88
Figura 78-Informazioni Generali Edificio Anagni 18 B 89
Figura 79-Inserimento Costi Anagni 18 B 89
Figura 80-VAN Anagni 18 B 90
Figura 81-Descrizione Generale Edificio Ceprano 91
Figura 82-Inserimento Costi Edificio Ceprano 92
Figura 83-VAN Edificio Ceprano 92
Figura 84-Descrizione Generale Edificio di Milano 93
Figura 85-Inserimento Costi Edificio Milano 94
Figura 86-VAN Edificio Milano 94

PREMESSA

Il presente lavoro, condotto presso il Dipartimento Unità Efficienza Energetica dell'ENEA – "Agenzia Nazionale per le Nuove tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile" – si colloca all'interno dell'attività di ricerca sulla contabilizzazione individuale del calore nei condomini dotati di impianti termici centralizzati.

INTRODUZIONE

In base a quanto descritto nell'ultimo rapporto annuale ENEA sull'efficienza energetica [1], a livello nazionale la principale componente di consumo finale dell'energia è rappresentata dal settore civile. Il 2017 ha fatto registrare, per tale area, una percentuale d'incidenza di circa il 42% rispetto al consumo totale (121 Mtep). Si osservi come, a partire dal corrispondente valore misurato nel 1990, il settore civile abbia subito un progressivo e costante aumento negli ultimi trent'anni.

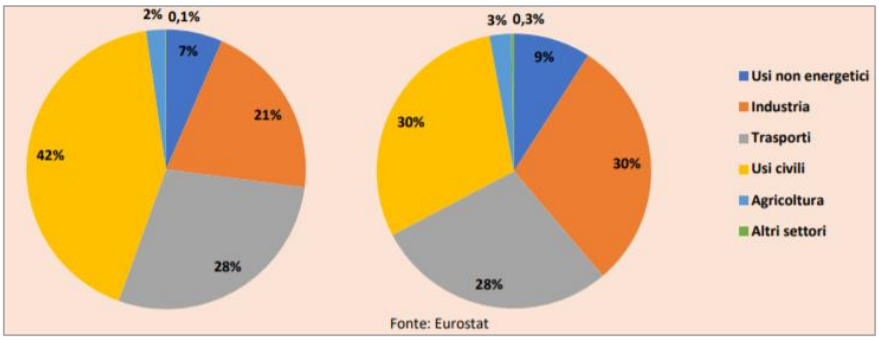


Figura 1-Impieghi finali dell'energia per settore nel 2017 (a sx.) e 1990 (a dx.) [1]

In particolare, al settore residenziale è attribuita la quota maggioritaria del consumo energetico per usi civili, con un valore attestato intorno ai 32 Mtep. Quest'ultimo dato deve senz'altro rappresentare un incentivo per lo sviluppo di soluzioni efficaci, finalizzate a ridurre la domanda complessiva. La ricerca di misure di risparmio energetico si rende ancora più urgente se si evidenzia come, attualmente, questo settore dipenda in misura rilevante da fonti di produzione non rinnovabili (principalmente gas naturale) per oltre il 50% dei suoi consumi. Ciò risulta in netto contrasto con l'obiettivo di incentivare la penetrazione delle fonti rinnovabili negli usi energetici finali[1] e, soprattutto, quello di mantenere l'incremento delle temperature (conseguenza del surriscaldamento globale) al di sotto di 1,5 °C rispetto all'era preindustriale, in base a quanto stabilito dagli accordi di

[1] +30% entro in 2030, in base a quanto stabilito dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) [2]

Parigi [3]. Va evidenziato che, parlando di risparmio energetico in ambito residenziale, non può non essere oggetto di riflessione l'assetto attuale del parco edilizio nazionale.

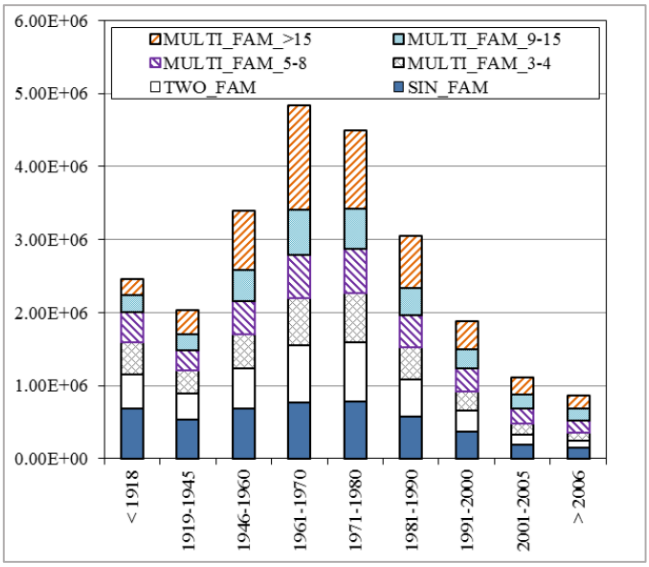


Figura 2-Statistica Anno di Costruzione Edifici Residenziali [4]

Osservando la figura 2, è immediato constatare come quasi il 70% degli edifici adibiti ad uso residenziale presenti anno di costruzione antecedente al 1976, quando la Legge 373 (cfr. par. 1.1) ha introdotto le prime specifiche di carattere costruttivo con la finalità di ridurre le dispersioni termiche attraverso i componenti di involucro.
Senza dubbio, ci si ritrova a dover fronteggiare uno scenario sostanzialmente caratterizzato da edifici vecchi e con scarse prestazioni energetiche, dove gli elevati consumi sono strettamente legati alla necessità di sopperire a perdite altrettanto consistenti.
L'efficientamento del settore, quindi, deve basarsi sull'azione congiunta di interventi di ristrutturazione "profonda" del comparto edilizio [5] e, in parallelo, sull'inserimento di soluzioni impiantistiche e tecnologiche che assicurino una migliore gestione dei vettori energetici utilizzati. In particolare, tra i possibili impieghi finali delle fonti prodotte, ad incidere maggiormente sull'economia familiare è la voce "climatizzazione ambientale", per circa il 70% rispetto al totale.

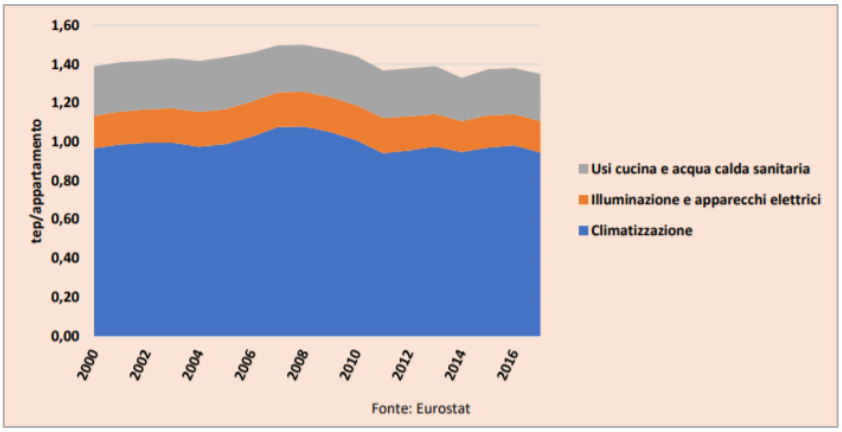


Figura 3-Usi energetici nel settore residenziale [1]

Ciò sottolinea come sia necessario agire anche in tale ambito per arginare in modo rapido ed efficace il problema della crisi energetica e climatica mondiale, sempre più di interesse comunitario.

Proprio all'interno di questo contesto si collocano le principali finalità del presente lavoro. Esso si propone di approfondire uno degli aspetti chiave connessi al tema della climatizzazione nel settore residenziale: la termoregolazione e contabilizzazione del calore.
Prima dell'emanazione delle Legge 10/91 del 9 Gennaio 1991, la ripartizione delle spese associate al servizio di riscaldamento invernale (effettuato tramite generazione centralizzata) veniva condotta utilizzando un modello di suddivisione dei consumi tra singoli inquilini basato sulla valutazione dei "millesimi di proprietà" o "millesimi di volumetria" [6]. Sostanzialmente, al termine della stagione invernale, ad ogni utenza veniva attribuito un consumo energetico di riscaldamento calcolato in proporzione al "valore", o al volume, della propria unità immobiliare rispetto all'intero condominio. Il risultato di una ripartizione di questo tipo era una stima (spesso poco accurata) del calore effettivamente prelevato dagli inquilini, che supportava gli stessi nella scelta di non adottare una politica di gestione "razionale" del servizio, commisurata alla loro effettiva richiesta termica. Va detto anche che gli utenti non disponevano ancora di un controllo sul sistema sufficiente a permettergli di gestirlo in maniera attiva e consapevole.
Con il passare degli anni, l'aumento della sensibilità pubblica verso tematiche di risparmio energetico, unita al rapido progresso tecnologico anche in campo edilizio, ha portato alla diffusione degli attuali sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore. L'obbligo di installazione degli stessi, imposto dal D.lgs 102/2014, rappresenta il primo punto d'arrivo di una complessa azione politica volta a responsabilizzare in misura progressivamente maggiore la figura dell'utente finale.
A quest'ultimo viene infatti affidato il compito di intervenire attivamente sul proprio sistema di riscaldamento attraverso la "termoregolazione" (automatica o manuale) dei terminali installati in appartamento. Quest'operazione gli consente di fissare un valore di temperatura desiderato in ogni locale riscaldato, effettuando la regolazione della portata del fluido termovettore che arriva ai singoli corpi scaldanti (cfr. par. 2.1.3.). Inoltre, viene spinto ad agire non soltanto in relazione alle proprie esigenze di comfort, ma anche nel rispetto delle reali condizioni di utilizzo dell'appartamento, consapevole che l'energia effettivamente prelevata verrà "contabilizzata" durante tutta la stagione di riscaldamento e andrà ad incidere (con una quota maggioritaria) sulle spese da sostenere al termine della stessa.
Con il tempo, quindi, si è assistito ad un cambio di paradigma che ha portato gli inquilini a poter gestire autonomamente il riscaldamento (anche se centralizzato) nelle rispettive unità abitative, invece di "subire" passivamente i programmi di accensione pre-impostati sul sistema di generazione. Il presente lavoro di tesi ha l'obiettivo di mostrare proprio come il rapporto tra l'utente finale e la tipologia di sistema di termoregolazione installata influisca in maniera significativa sulla natura del risparmio energetico conseguito al termine della stagione invernale.
Nel primo capitolo si effettuerà una descrizione storica del contesto normativo in tema di termoregolazione e contabilizzazione; verranno esaminati con maggiore attenzione alcuni aspetti della UNI 10200, che stabilisce le modalità di ripartizione delle spese di riscaldamento per edifici dotati di sistema di contabilizzazione del calore (diretta o indiretta).
La seconda parte sarà dedicata all'analisi dello stato dell'arte dei sistemi di contabilizzazione indiretta attualmente più diffusi sul territorio nazionale. Verrà descritta la modalità di funzionamento di tali dispositivi e quali aspetti impiantistici è necessario considerare in fase di installazione di un sistema di regolazione con valvole termostatiche.
A seguire (Capitolo 3), verrà valutato l'impatto sui consumi energetici derivante dall'adozione, da parte di alcune utenze distribuite prevalentemente nel Nord Italia (Milano, Torino, Aosta), delle soluzioni tecnologiche esposte. L'obiettivo è di determinare l'entità del risparmio energetico associato all'utilizzo di tipologie differenti di sistema di termoregolazione, anche in relazione all'eterogeneità degli edifici esaminati (prime case, seconde case o utenze del settore terziario).

L’ultimo (e più “corposo”) capitolo è dedicato ai differenti aspetti che costituiscono il tema della contabilizzazione “intelligente” del calore. Partendo dalle tecnologie tradizionali esaminate, saranno individuati i passaggi che consentiranno di effettuare un’operazione di “retrofit” dei sistemi di contabilizzazione attualmente in campo, in modo da abilitarli alla gestione da remoto, nel rispetto dei requisiti imposti dalla moderna filosofia dell’Internet of Things [7].
Soprattutto in quest’ultima fase, verrà messa in risalto l’importanza di creare un legame funzionale tra il sistema “smart” e l’utenza che dovrà interfacciarvisi. Trattandosi di una tecnologia destinata, nella maggior parte dei casi, a soggetti con poca familiarità con aspetti legati al riscaldamento residenziale, è fondamentale che il sistema svolga una duplice funzione:

- Informare in tempo reale gli utenti sull’andamento dei propri consumi energetici in modo semplice ed esaustivo, sfruttando un meccanismo di feedback (orario, giornaliero, mensile, etc.) basato sulla definizione di indici di risparmio qualitativi;
- Suggerire, proprio attraverso le informazioni elaborate, possibili interventi volti a migliorare la gestione della termoregolazione, indirizzando l’utente finale verso il conseguimento di un risparmio energetico maggiore.

1. QUADRO NORMATIVO

Il concetto di termoregolazione ambientale e contabilizzazione del calore, associato ai servizi di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria, ha origini ben più antiche rispetto al contesto all'interno del quale si muove il presente lavoro. Scopo di questo capitolo è di ripercorrere i passi principali che hanno condotto alla recente emanazione dell'obbligo di introduzione dei sistemi di contabilizzazione per specifiche categorie di utenza residenziale. L'obbligo nasce con l'obiettivo di effettuare una ripartizione delle spese connesse all'utilizzo della fonte termica che sia proporzionata all'effettivo consumo da parte dei singoli fruitori.
Nel seguito verrà brevemente esposto il contenuto delle principali norme in materia di termoregolazione e contabilizzazione. Si precisa che con tale sintesi non si ha la pretesa di descrivere esaustivamente le modalità con cui il tema è stato trattato in sede legislativa. Più semplicemente, si vuole evidenziare come l'argomento sia stato spesso oggetto di dibattito in fase di definizione delle linee guida per il conseguimento del risparmio energetico nel settore edilizio.

1.1. Legge 373 del 1976

L'esigenza di regolamentare i processi di produzione e gestione del calore nasce a seguito di un evento storico ben preciso. L'incremento del prezzo del greggio e dei suoi derivati, operato da parte dei paesi arabi dell'OPEC[2] a sostegno di Egitto e Siria durante la "Guerra del Kippur" [8], rappresenta la causa primaria della crisi energetica del 1973. In accordo alle azioni politiche volte a limitare il più possibile la dipendenza da tale fonte in tutti i settori della produzione industriale, così come in ambito residenziale, si è assistito all'introduzione della "Legge 373 del 30 Aprile 1976", riconosciuta in modo condiviso come la prima legge italiana in materia di energia che si occupi di aspetti edilizi.
La legge si pone come obbiettivo il "contenimento dei consumi energetici per usi termici negli edifici" [9], da realizzare attraverso interventi finalizzati a mitigare le dispersioni termiche attraverso l'involucro edilizio (diminuendone la trasmittanza termica complessiva) e il consumo di combustibile, adottando alcune specifiche di progettazione ed esercizio degli impianti.
In particolare, i generatori con potenza termica al focolare uguale o superiore a 50.000 kcal/h, installati dopo l'entrata in vigore del regolamento, sono obbligati (per la prima volta) a dotarsi di un sistema automatico di regolazione della potenza erogata, operante in funzione delle condizioni climatiche esterne. Il provvedimento viene esteso anche agli impianti già esistenti, con potenza superiore a 100.000 kcal/h. Per edifici destinati ad abitazioni, l'impianto di generazione deve essere dimensionato per assicurare una temperatura dell'aria interna non superiore a 20°C.

1.2. Legge 10/1991

Viene stabilito che la decisione di introdurre sistemi di termoregolazione e contabilizzazione è affidata alla maggioranza qualificata degli intervenuti all'assemblea condominiale (50% più uno), con almeno 500 millesimi di proprietà dell'edificio. Tutti gli edifici residenziali di nuova costruzione (rispetto alla presente legge) sono tenuti a introdurre sistemi di termoregolazione e contabilizzazione in ogni appartamento [10].
Inoltre, per far fronte all'abitudine erronea di utilizzare i radiatori con valvola "sempre aperta" negli edifici dotati di generazione centralizzata, la legge incoraggia il settore residenziale al passaggio a sistemi di produzione autonoma del calore. Pur trattandosi di una generazione meno efficiente rispetto

[2] Organizzazione dei paesi esportatori di petrolio

a quella centralizzata, l'incentivo al risparmio per l'utenza è rappresentato da una fatturazione dei costi commisurata agli effettivi consumi registrati nei singoli alloggi.

1.3. D.P.R. 412/93 (con modifiche del DPR 551/99 e integrazioni del DPR 73/2013)

Il territorio nazionale viene diviso in 6 zone termiche, in relazione ai gradi giorno registrati (non viene considerata la collocazione geografica). I gradi giorno stagionali vengono calcolati come sommatoria delle differenze positive tra la temperatura ambiente di progetto (20°C) e la temperatura esterna media giornaliera [11].
Gli impianti di produzione centralizzata con potenza superiore ai 35 kW sono tenuti a dotarsi di un sistema di termoregolazione (con sonda esterna) che stabilisca, nell'arco delle 24 h, almeno due differenti livelli di temperatura ambiente in funzione delle condizioni esterne. Il sistema precedente può essere progettato anche per una regolazione su un solo livello di temperatura, qualora all'interno di ogni unità abitativa sia presente un sistema di contabilizzazione (funzionante con almeno una sonda ambiente) e un programma che regoli la temperatura interna su almeno due livelli nel periodo giornaliero.
Dev'essere prevista una programmazione settimanale/mensile per i locali ad occupazione discontinua che garantisca lo spegnimento (o l'attenuazione del servizio) nei periodi di non occupazione.
Per quanto concerne le unità abitative dotate di generazione autonoma, anche tali impianti devono poter effettuare una regolazione giornaliera della temperatura ambiente su almeno due valori di set-point.
È consigliata, dove tecnicamente realizzabile, l'installazione supplementare di sistemi di regolazione della temperatura interna in tutti gli ambienti in cui si registrano apporti solari e interni superiori del 20% rispetto al fabbisogno di riferimento, al fine di evitare il surriscaldamento degli stessi.
In base alla zona climatica, il funzionamento dell'impianto viene limitato ad uno specifico periodo dell'anno, per un numero massimo di ore di accensione giornaliere:

- Zona A: 6 ore giornaliere dal 1° dicembre al 15 marzo;
- Zona B: 8 ore giornaliere dal 1° dicembre al 31 marzo;
- Zona C: 10 ore giornaliere dal 15 novembre al 31 marzo;
- Zona D: 12 ore giornaliere dal 1° novembre al 15 aprile;
- Zona E: 14 ore giornaliere dal 15 ottobre al 15 aprile;
- Zona F: nessuna limitazione.

Fuori dal periodo prescritto devono necessariamente sussistere le condizioni climatiche che giustifichino la nuova accensione, limitata comunque ad un numero di ore pari alla metà rispetto a quella indicata sopra.
Per gli impianti dotati di caratteristiche specifiche di rendimento (si veda par. 1.4.), qualora siano installati sistemi di termoregolazione e contabilizzazione in ogni singola unità immobiliare, è consentito l'esercizio giornaliero continuo. Quest'ultimo deve prevedere una temperatura degli ambienti riscaldati pari a 16 °C (+2°C di tolleranza) nelle ore diverse da quelle di regolare accensione.
L'art. 5 del D.P.R. 551/1999 (che integra e modifica il presente decreto) stabilisce l'obbligo di installazione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione in ogni unità abitativa per edifici con anno di costruzione successivo al 30 Giugno 2000 [13].

1.4. D.P.R 59 del 2009

Viene prescritto che il rendimento termico dell'impianto (operante in condizioni nominali) deve essere superiore al valore calcolato tramite la relazione seguente [15]:

$$\eta = \frac{P_n}{P_f} \geq 90 + 2 * \log(P_n) \qquad (1)$$

Avendo indicato con "P_n" la potenza nominale [kW] e "P_f" la potenza al focolare [kW].
Ciascun generatore sostituito all'impianto precedente deve essere dotato di una centralina di regolazione con sonde di rilevamento della temperatura interna ed esterna. In contrapposizione con quanto indicato nella 10/1991, il presente D.P.R. suggerisce di mantenere centralizzata la produzione di energia termica per i condomini con più di 4 appartamenti riscaldati, o impianti di potenza uguale o superiore ai 100 kW. Per gli stessi, in caso di ristrutturazione o nuova installazione del sistema di generazione, vanno realizzate azioni necessarie a permettere la termoregolazione e contabilizzazione in ogni singola unità abitativa.

1.5. Direttiva 2012/27/UE del 25 ottobre 2012

Direttiva sull'efficienza energetica che, modificando e ampliando le precedenti 2009/125/CE e 2010/30/UE, sancisce l'insieme di manovre finalizzate al risparmio energetico da attuare nei paesi membri dell'Unione Europea, con l'obiettivo di rispettare i requisiti prefissati dal piano "20-20-20" [16]. Tra gli interventi proposti per il settore edilizio, tra cui si cita la promozione alla ristrutturazione del parco immobiliare pubblico e privato, rispettando i requisiti di prestazione energetica nell'edilizia, figura proprio l'obbligo di introduzione di sistemi di contabilizzazione dei consumi termici. In particolare, i condomini e gli edifici polifunzionali dotati di sistema di generazione centralizzata o allacciati ad una rete di teleriscaldamento devono provvedere alla fornitura di contatori individuali di calore a tutti gli utenti finali entro il 31 Dicembre 2016.
Si tratta di uno dei primi casi in cui viene messa in risalto l'importanza di facilitare l'accesso dei singoli inquilini alle informazioni sui propri consumi. Questi ultimi non vengono più calcolati sulla base di stime "presunte" (ossia proporzionate, ad esempio, alla volumetria o alla potenza installata nell'unità abitativa) in quanto non tengono conto dell'effettiva propensione al risparmio dell'utenza. Per soddisfare la necessità di fornire indicazioni chiare sui consumi, vengono più volte menzionati i contatori "intelligenti", incentivandone l'installazione entro il 2020.
La descrizione dell'art.9, legato proprio alla misura dell'energia, verrà effettuata nel paragrafo successivo.

1.6. D.Lgs. 102/2014 (e successive modifiche apportate dal D.Lgs. 141/2016)

Il decreto recepisce le disposizioni della direttiva europea 2012/27/UE su base nazionale. Viene introdotto l'obbligo di contabilizzazione entro il 31 dicembre 2016 per i condomini provvisti di sistema di generazione centralizzata di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria. Poiché di fondamentale importanza ai fini del presente lavoro, si riporta testualmente quanto descritto nell'art.9 comma 5 del decreto:
"*Per favorire il contenimento dei consumi energetici attraverso la contabilizzazione dei consumi di ciascuna unità immobiliare e la suddivisione delle spese in base ai consumi effettivi delle medesime: a) qualora il riscaldamento, il raffreddamento o la fornitura di acqua calda ad un edificio o a un condominio siano effettuati tramite allacciamento ad una rete di teleriscaldamento o di teleraffrescamento, o tramite una fonte di riscaldamento o raffreddamento centralizzata, è obbligatoria, entro il 31 dicembre 2016, l'installazione, a cura degli esercenti l'attività di misura, di un contatore di fornitura in corrispondenza dello scambiatore di calore di collegamento alla rete o del punto di fornitura dell'edificio o del condominio;*

b) nei condomini e negli edifici polifunzionali riforniti da una fonte di riscaldamento o raffreddamento centralizzata o da una rete di teleriscaldamento o da un sistema di fornitura centralizzato che alimenta una pluralità di edifici, è obbligatoria l'installazione entro il 31 dicembre 2016 a cura del proprietario, di sotto-contatori per misurare l'effettivo consumo di calore o di raffreddamento o di acqua calda per ciascuna unità immobiliare, nella misura in cui sia tecnicamente possibile, efficiente in termini di costi e proporzionato rispetto ai risparmi energetici potenziali. L'efficienza in termini di costi può essere valutata con riferimento alla metodologia indicata nella norma UNI EN 15459[3]. Eventuali casi di impossibilità tecnica alla installazione dei suddetti sistemi di contabilizzazione o di inefficienza in termini di costi e sproporzione rispetto ai risparmi energetici potenziali, devono essere riportati in apposita relazione tecnica del progettista o del tecnico abilitato;
c) nei casi in cui l'uso di sotto-contatori non sia tecnicamente possibile o non sia efficiente in termini di costi e proporzionato rispetto ai risparmi energetici potenziali, per la misura del riscaldamento si ricorre, a cura dei medesimi soggetti di cui alla lettera b), all'installazione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore individuali per quantificare il consumo di calore in corrispondenza a ciascun corpo scaldante posto all'interno delle unità immobiliari dei condomini o degli edifici polifunzionali, secondo quanto previsto norme tecniche vigenti, salvo che l'installazione di tali sistemi risulti essere non efficiente in termini di costi con riferimento alla metodologia indicata nella norma UNI EN 15459;
d) quando i condomini o gli edifici polifunzionali sono alimentati da teleriscaldamento o teleraffreddamento o da sistemi comuni di riscaldamento o raffreddamento, per la corretta suddivisione delle spese connesse al consumo di calore per il riscaldamento, il raffreddamento delle unità immobiliari e delle aree comuni, nonché per l'uso di acqua calda per il fabbisogno domestico, se prodotta in modo centralizzato, l'importo complessivo è suddiviso tra gli utenti finali, in base alla norma tecnica UNI 10200 e successive modifiche e aggiornamenti. Ove tale norma non sia applicabile o laddove siano comprovate, tramite apposita relazione tecnica asseverata, differenze di fabbisogno termico per metro quadro tra le unità immobiliari costituenti il condominio o l'edificio polifunzionale superiori al 50 per cento, è possibile suddividere l'importo complessivo tra gli utenti finali attribuendo una quota di almeno il 70 per cento agli effettivi prelievi volontari di energia termica. In tal caso gli importi rimanenti possono essere ripartiti, a titolo esemplificativo e non esaustivo, secondo i millesimi, i metri quadri o i metri cubi utili, oppure secondo le potenze installate. E' fatta salva la possibilità, per la prima stagione termica successiva all'installazione dei dispositivi di cui al presente comma, che la suddivisione si determini in base ai soli millesimi di proprietà. Le disposizioni di cui alla presente lettera sono facoltative nei condomini o gli edifici polifunzionali ove alla data di entrata in vigore del presente decreto si sia già provveduto all'installazione dei dispositivi di cui al presente comma e si sia già provveduto alla relativa suddivisione delle spese" [17].
Come indicato alla lettera d) la metodologia seguita per la ripartizione delle spese associate al servizio di riscaldamento, salvo casi di dimostrata inapplicabilità, viene esposta nella UNI 10200.
Pur rimandando direttamente a quest'ultima per una più chiara ed esaustiva trattazione sul tema, si ritiene fondamentale riprenderne alcuni punti salienti nel paragrafo successivo, poiché essenziali per la piena comprensione dei contenuti dello studio.

[3] Sinteticamente, la convenienza economica viene valutata effettuando il calcolo del VAN associato alla realizzazione del sistema di termoregolazione e contabilizzazione. Tipicamente, si considera un periodo di riferimento pari a 10 anni, utilizzando un tasso di interesse compreso tra il 2 e il 4% [23]

1.7. UNI 10200:2018

Regola le modalità di "*ripartizione delle spese legate ai servizi di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria*" [18] in edifici caratterizzati da impianti di generazione centralizzata, dotati (o meno) di sistemi di contabilizzazione diretta o indiretta dell'energia.
Concentrandosi sugli aspetti legati al solo servizio di riscaldamento, si definisce:

- Consumo Volontario "$Q_{H,vol}$" [kWh]: energia termica erogata dai singoli terminali scaldanti, associata all'azione dell'utenza sui sistemi di termoregolazione al fine mantenere specifiche condizioni di comfort nei locali che compongono l'unità abitativa;
- Consumo Involontario "$Q_{H,inv}$" [kWh]: energia termica associata ai fenomeni di dispersione dell'impianto centralizzato, legati alle perdite nel sistema di distribuzione e a fenomeni di accumulo. L'azione dell'utenza non è riconducibile a questa componente di consumo.

La somma di consumo volontario e involontario compone il consumo totale "$Q_{H,tot}$" che, al netto delle perdite di generazione (al camino e al mantello), rappresenta l'energia termica utile in uscita dalla caldaia centralizzata. La figura 4 consente di visualizzare le differenti componenti di consumo, evidenziando anche come parte del consumo involontario ("$Q_{H,dis,ls,rh}$") sia responsabile del riscaldamento delle unità abitative, pur senza l'azione di regolazione dell'utenza.

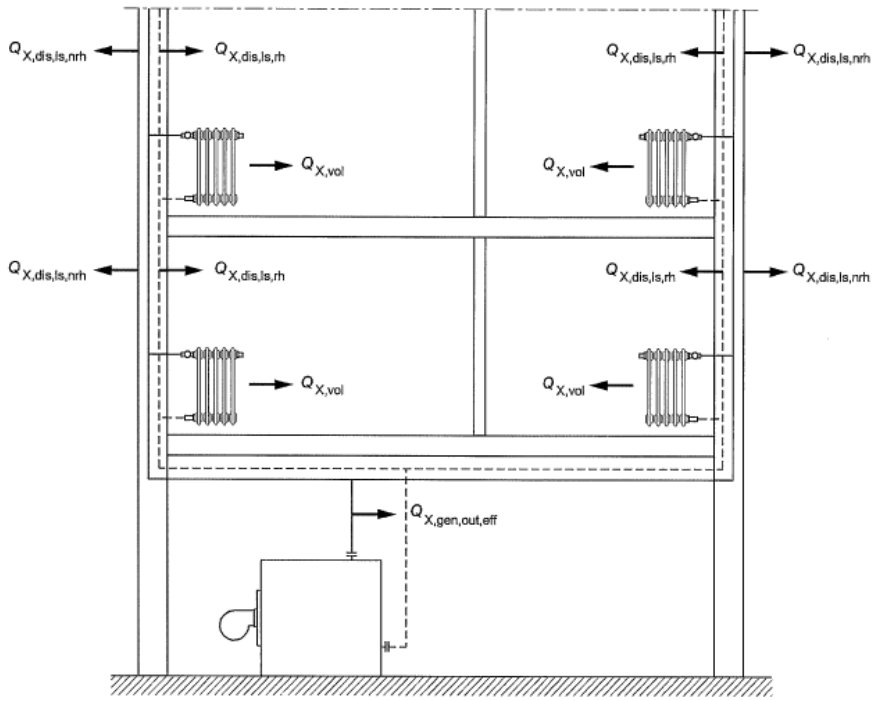


Figura 4-Perdite volontarie e involontarie in un edificio provvisto di caldaia centralizzata e distribuzione a colonne montanti [18]

La spesa energetica totale, quindi, tiene conto di entrambe le componenti energetiche. Queste devono essere equamente ripartite fra tutti i condòmini dello stabile, utilizzando una procedura che dipende dalla tipologia di sistema di contabilizzazione (diretta o indiretta) installato:

- Nel caso di contabilizzazione diretta il consumo volontario totale di ciascuna utenza si ottiene dalla semplice lettura dei valori registrati per singolo appartamento, già espressi in kWh termici di riscaldamento. La differenza tra il consumo totale (anche questo ottenuto tramite misura diretta in centrale termica) e il consumo volontario totale restituisce la componente di consumo involontario, come indicato nel seguito:

$$Q_{H,inv,tot} = Q_{H,tot} - Q_{H,vol,tot} \qquad (2)$$

- Nel caso di contabilizzazione indiretta è il consumo volontario totale ad essere determinato come differenza tra il consumo totale e la componente involontaria, quindi:

$$Q_{H,vol,tot} = Q_{H,tot} - Q_{H,inv,tot} \qquad (3)$$

In questo caso il consumo involontario "$Q_{H,inv,tot}$" si calcola tramite la procedura descritta nel paragrafo successivo. A questo punto, noto il "$Q_{H,vol,tot}$", la ripartizione della componente volontaria tra le singole utenze viene eseguita come:

$$Q_{H,vol,i} = Q_{H,vol,tot} * \frac{UR_i}{\sum_i UR_i} \qquad (4)$$

Dove:

- "$Q_{H,vol,i}$" [kWh]: consumo volontario della singola unità immobiliare;
- "$Q_{H,vol,tot}$" [kWh]: consumo volontario totale;
- UR_i: unità di ripartizione della singola unità immobiliare (somma delle unità dei singoli corpi scaldanti);
- $\sum_i UR_i$: unità di ripartizione riferite all'intero edificio.

Per quanto concerne la ripartizione del consumo involontario totale, ai singoli condòmini è attribuita una percentuale del valore complessivo in proporzione ai millesimi di fabbisogno associati a ciascun appartamento.
Il fabbisogno ideale della singola unità immobiliare, se finalizzato all'elaborazione di tabelle millesimali, è determinato in accordo alle specifiche tecniche esposte nelle UNI TS/11300 [19], utilizzando la modalità di valutazione A2 ("condizioni standard di utilizzo").

1.7.1. Determinazione consumo involontario totale – contabilizzazione indiretta

In caso di contabilizzazione indiretta, il consumo involontario complessivo dell'edificio è ricavato come:

$$Q_{H,inv,tot} = Q_{H,tot} * f_{H,inv} \qquad (5)$$

Dove si è indicato con "$f_{H,inv}$" la frazione di consumo totale da imputare alla componente involontaria. Quest'ultima dipende fortemente dal "grado di utilizzo" dell'edificio, un parametro identificativo di "quanto" vengono occupate le unità abitative durante l'arco della stagione di riscaldamento. A tale scopo si definisce il "fattore d'uso" come:

$$f_{H,uso} = \frac{Q_{H,tot}}{Q_{H,dis,in}} \qquad (6)$$

Rapporto tra il consumo totale effettivamente registrato durante il periodo di riscaldamento e il fabbisogno in ingresso alla distribuzione, "$Q_{H,dis,in}$", calcolato in modalità A3 ("tailored rating"[4]) come prescritto dalle UNI/TS 11300 [19].

[4] La UNI/TS 11300 PARTE 1 specifica che la valutazione del fabbisogno in ingresso alla distribuzione in modalità A3 è da effettuarsi considerando gli stessi parametri termo-fisici dell'edificio reale, condizioni climatiche medie e un grado di occupazione "adattato" all'utenza. Di fatto, si tratta del consumo totale atteso nel caso di "piena occupazione" dell'edificio

In base al valore assunto dal fattore d'uso, gli edifici vengono distinti in:

- "Edifici normalmente utilizzati" se $f_{H,uso} > 0{,}8$;
- "Edifici ad uso discontinuo o saltuario" (anche noti come "seconde case") se $f_{H,uso} \leq 0{,}8$.

Nel primo caso, la frazione di consumo involontario è posta pari al corrispondente valore determinato in condizioni di pieno utilizzo. Ciò equivale a scegliere uno tra i valori indicati nella figura sottostante, qualora l'impianto rispetti le condizioni corrispondenti:

Frazione del consumo involontario a piena utilizzazione ($f^*_{H,inv,tab}$)

Tipologia di impianto		$f^*_{H,inv,tab}$ [-]		
		A[1]	B[1]	C[1]
Impianto a distribuzione verticale a colonne	Edificio ad un piano	0,23	0,25	0,30
	Edificio a due piani	0,22	0,24	0,28
	Edificio a tre piani	0,21	0,23	0,265
	Edificio a quattro piani ed oltre	0,20	0,22	0,25
Impianto a distribuzione orizzontale con collettori complanari o monotubo[2] [5]		0,10		
Impianto con satelliti di utenza[4] con valvole a due vie modulanti e Δt elevato[2] [5]		0,10		
Impianto con satelliti di utenza[4] con valvole a tre vie e regolazione on-off[2] [5]		0,25		
Impianto con satelliti di utenza[4] con valvole a due vie modulanti e Δt elevato; produzione di acqua calda sanitaria con scambiatori collegati alla medesima rete[3] [5]		0,35		
Impianto con satelliti di utenza[4] con valvole a tre vie e regolazione on-off; produzione di acqua calda sanitaria con scambiatori collegati alla medesima rete[3] [5]		0,50		

1) Stato dell'isolamento della distribuzione orizzontale corrente a soffitto del piano cantinato:
A = eseguito con cura e protetto da uno strato di gesso, plastica o alluminio;
B = eseguito con materiali vari (mussola di cotone, coppelle) non fissato stabilmente con strato protettivo;
C = isolamento inesistente o gravemente deteriorato.
2) Temperatura del fluido preregolata in funzione del clima, rete per distribuzione di solo riscaldamento, rete acqua calda sanitaria indipendente.
3) Temperatura del fluido a punto fisso per la produzione di acqua calda sanitaria con scambiatori locali.
4) Satelliti di utenza: moduli di derivazione di zona contenenti generalmente gli organi di regolazione e contabilizzazione.
5) In questi impianti dovrebbero essere presenti dei contatori di zona. In tale caso il consumo involontario di energia termica utile deve essere calcolato sottraendo al consumo totale il consumo volontario totale (formula 27), a sua volta determinato come sommatoria dei consumi volontari delle singole unità immobiliari (formula 25).

Figura 5-Frazione del consumo involontario a piena utilizzazione [18]

Per quanto concerne il fattore d'uso nei casi di edificio ad occupazione saltuaria, è lecito aspettarsi un valore maggiore rispetto a quello calcolato tramite l'ipotesi di piena occupazione. Si immagini, ad esempio, un edificio in cui soltanto uno degli alloggi risulta occupato; per garantire il servizio sarà comunque necessario riscaldare l'intero sistema di distribuzione, il quale, presentando molti dei radiatori dell'edificio chiusi, sarà costretto a dissipare potenza lungo il circuito percorso dal fluido termovettore. La normativa, dunque, prevede di utilizzare una relazione che lega linearmente l'aumento della frazione di consumo involontario alla diminuzione del fattore d'uso[5]. In particolare:

[5] L'approssimazione lineare è valida nell'intervallo $0{,}3 < f_{H,uso} < 0{,}8$. Per $f_{H,uso} < 0{,}3$ potrebbe risultare meno precisa, per cui è affidata al progettista, o a chi effettua la ripartizione, la scelta della metodologia più adatta per il caso specifico.

$$f_{H,inv} = 1 - \left(\frac{1-f^*_{H,inv}}{0.8}\right) * f_{H,uso} \qquad (7)$$

Dove si è indicato con "$f^*_{H,inv}$" la frazione involontaria del consumo in condizioni di pieno utilizzo, come indicato in figura 5.

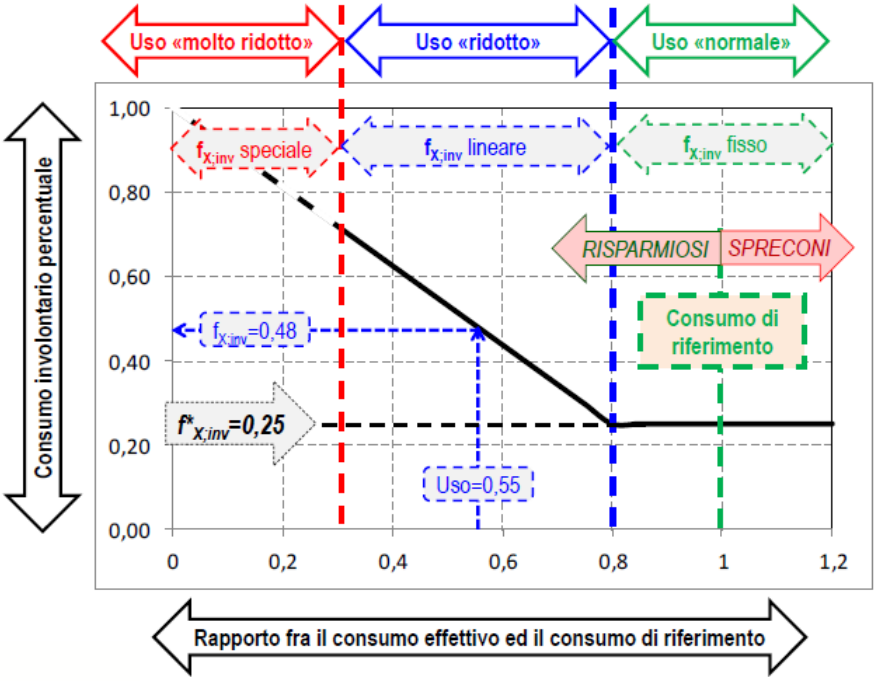


Figura 6-Esempio di calcolo della frazione di consumo involontario nell'intervallo "uso ridotto" [20]

Come osservato in figura 6, gli scostamenti inferiori al 20% rispetto al valore unitario del fattore d'uso sono considerati "fisiologici", e caratteristici di un comportamento più o meno parsimonioso dell'utenza.

1.7.2. Controllo della Qualità delle letture da contabilizzazione indiretta

La determinazione della quota involontaria di consumo totale necessita dell'utilizzo di approssimazioni sia nel considerare una relazione di tipo lineare tra il fattore d'uso e la frazione involontaria sia nella valutazione del fabbisogno in ingresso alla distribuzione ("$Q_{H,dis,in}$") in condizioni A3, come prescritto dalla norma.
Le modalità A3 ("tailored rating"), infatti, introducono un alto fattore di "discrezionalità" [20] nella realizzazione di un modello che conduca al calcolo del "$Q_{H,dis,in}$". Viene sostanzialmente affidata al gestore della ripartizione la responsabilità di effettuare delle ipotesi sull'utilizzo dell'edificio da parte dell'utenza (ad es. la scelta della temperatura di set-point per raggiungere il comfort nei locali o la modalità di gestione dell'impianto di generazione).
Alla luce di questa incertezza, la UNI 10200 stabilisce una metodologia che consente di certificare la qualità delle registrazioni dei consumi effettuate tramite contabilizzazione indiretta. Questa prevede che venga condotta una nuova verifica del "$Q_{H,dis,in}$", fabbisogno in ingresso alla distribuzione, in tutti i casi in cui si manifesta uno scostamento superiore del 20% del "$q_{UR,t}$"[kWh/UR] rispetto a un valore di riferimento.
Il calcolo del "$q_{UR,t}$" si effettua come:

$$q_{UR,t} = \frac{Q_{H,vol,tot}}{\sum_i UR_i} \qquad (8)$$

Dove il consumo volontario totale, "$Q_{H,vol,tot}$" (desunto a partire dal "$Q_{H,dis,in}$"), e le unità di ripartizione consuntivate per l'intero edificio, "$\sum_i UR_i$", sono noti soltanto al termine della stagione di riscaldamento.
La verifica di qualità delle letture si basa sull'assunzione che il rapporto 8 debba mantenersi mediamente costante (entro una certa banda di tolleranza), poiché le UR misurate da un qualunque sistema di contabilizzazione indiretta devono essere proporzionali al consumo volontario di calore. Qualora si verifichi una brusca variazione del "$q_{UR,t}$" (utilizzando lo stesso sistema di contabilizzazione), questa dev'essere interpretata come un'anomalia nella misura. Ad esempio, una deriva del "$q_{UR,t}$", con valori sempre maggiori tra una lettura e l'altra, può essere sintomatica di un progressivo spegnimento dei ripartitori installati. Oppure, oscillazioni significative del "$q_{UR,t}$" stagionale possono segnalare un'errata valutazione della componente involontaria. A titolo esplicativo si riportano due andamenti del "$q_{UR,t}$":

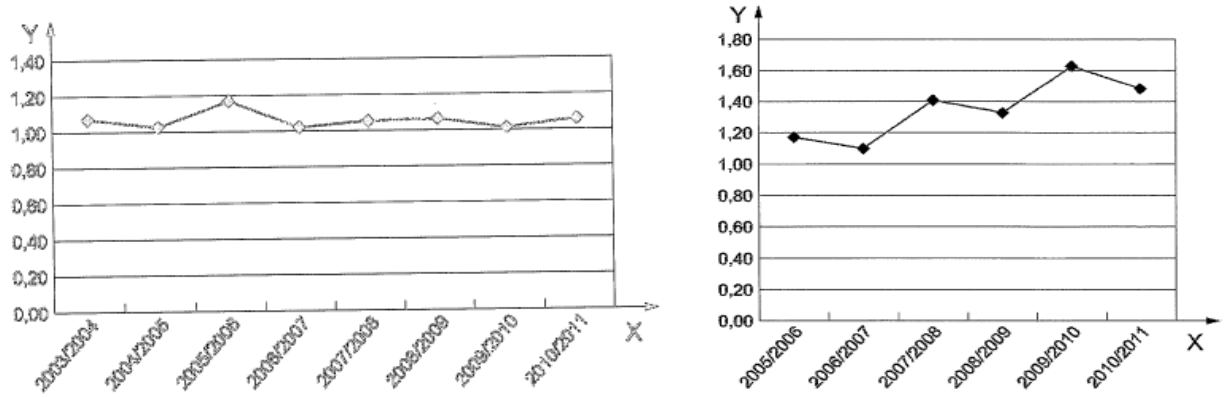


Figura 7-Caso senza anomalie (a sx.) e Caso con anomalie (a dx.) [18]

La figura a sinistra mostra un andamento piuttosto regolare, mentre il grafico a destra evidenzia un comportamento anomalo, indicativo di una progressiva deriva del sistema di lettura dei consumi.
Gli strumenti di cui ci si avvale per determinare eventuali criticità nella registrazione dei consumi sono i diagrammi di Cusum. Questi consentono di trascurare le variazioni del "$q_{UR,t}$" entro una certa banda di tolleranza (considerandole "naturali") e di effettuare una verifica di accuratezza e precisione delle diverse letture. L'accuratezza è indicativa di quanto il "$q_{UR,t}$" (misurato per la nuova stagione) sia centrato rispetto al riferimento, mentre la precisione è caratteristica di un "$q_{UR,t}$" che subisce lievi oscillazioni tra una misura e l'altra.
Nel presente studio è stato sviluppato un foglio di calcolo che consente di effettuare il controllo "a-posteriori" della qualità delle letture, seguendo la procedura descritta nell'appendice F della UNI 10200:2018. L'obiettivo è di fornire al letturista uno strumento in grado di segnalare la presenza di irregolarità nelle misure registrate, evidenziando la necessità di condurre una nuova verifica del "$Q_{H,dis,in}$".
L'analisi è stata condotta considerando una serie di condomini ad occupazione saltuaria ($f_{H,uso} < 0{,}8$) di cui si dispone delle seguenti informazioni di consumo, relative alla stagione 2018/2019[6]:

- Consumo di riferimento "$Q_{H,dis,in}$" [kWh], determinato utilizzando un modello sperimentale di simulazione che considera la piena occupazione dell'edificio in modalità A3;
- Consumo totale di calore "$Q_{H,tot}$" [kWh], determinato tramite lettura diretta del contatore posto in centrale termica alla fine della stagione di riscaldamento;

[6] Per alcuni casi studio è stato possibile reperire i dati anche per il 2017/2018.

- Unità di Riparto "UR", determinate dalla somma delle letture a consuntivo delle UR misurate dai singoli ripartitori di tutto il condominio;
- Fattore d'uso del condominio, determinato tramite l'equazione 6;
- Frazione involontaria del consumo totale "$f_{H,inv}$", calcolata con l'approssimazione lineare espressa nell'equazione 7;
- Consumo volontario totale "$Q_{H,vol,tot}$" [kWh], calcolato come:

$$Q_{H,vol,tot} = Q_{H,tot} * (1 - f_{H,inv}) \qquad (9)$$

La procedura seguita per la costruzione dei diagrammi di Cusum prevede la definizione di alcuni parametri caratteristici. Questi, calcolati per uno degli edifici oggetto di studio, sono riassunti nella tabella seguente:

PARAMETRI CUSUM		
	Valore	**Significato**
Media$_{rif.}$	1,06	Valore obbiettivo. Media dei $q_{UR,t}$ disponibili
i $_{rel}$	10%	Incertezza relativa di riferimento
i	0,105758	Incertezza assoluta di riferimento
Amp. Contr.	2	Ampiezza relativa banda di controllo
Amp. Toll.	0,2	Ampiezza relativa banda tolleranza
Con. Prec.	4	Ampiezza relativa controllo precisione
Toll. Prec.	0,4	Ampiezza relativa tolleranza precisione
h_x	0,211517	Banda di controllo
k_x	0,021152	Banda di Tolleranza
h_s	0,044739	Banda di controllo precisione
k_s	0,004474	Banda di tolleranza precisione

Figura 8-Parametri Cusum

In particolare:

- La media aritmetica dei "$q_{UR,t}$" a disposizione rappresenta il parametro di riferimento per la valutazione dell'accuratezza e precisione delle letture;
- L'incertezza assoluta di riferimento "i", calcolata come prodotto tra la media di riferimento e l'incertezza percentuale relativa, "i_{rel}", consente di definire l'ampiezza delle fasce di tolleranza e controllo;
- "h_x" e "k_x" sono rispettivamente i limiti della banda di controllo e tolleranza dell'accuratezza, presi in valore assoluto. Questi si calcolano come: $h_x = i * \text{"Amp. Contr."}$ e $k_x = i * \text{"Amp. Toll."}$;
- "h_s" e "k_s" sono rispettivamente i limiti della banda di controllo e tolleranza della precisione, calcolati come: $h_x = i^2 * \text{"Con. Prec."}$ e $k_s = i^2 * \text{"Toll. Prec."}$;

L'operazione che viene richiesta al letturista ad ogni fine stagione è di inserire i dati di "$Q_{H,vol,tot}$" e "UR" rilevati, come mostrato in figura seguente:

TABELLA DATI LETTURE STAGIONALI				
Stagione	$Q_{h,vol,tot}$ [kWh]	UR_{tot} [UR]	$q_{UR,t}$ [kWh/UR]	Controllo Qualità
2017/2018	11732,65	12179	0,96	Lettura Precisa e Accurata
2018/2019	9352,76	8120	1,15	Lettura Precisa e Accurata
2019/2020				
2020/2021				
2021/2022				
2022/2023				
2023/2024				
2024/2025				
2025/2026				
2026/2027				
2027/2028				

Inserire dati ricavati dalle letture nelle caselle azzurre

Legenda:
- $Q_{H,vol,tot}$ = Consumo Volontario Totale Stagionale (Intero Condominio);
- UR_{tot} = Somma Unità di Ripartizione Stagionali (Intero Condominio);
- $q_{UR,t}$ = Consumo Volontario / Unità di Ripartizione;
- Σ(pos) = Somma cumulata positiva;
- Σ(neg) = Somma cumulata negativa;
- s_i = somma cumulata degli scarti quadratici;

Figura 9-Foglio di inserimento dati di input

La compilazione delle rispettive celle consente al foglio di calcolo di effettuare in automatico il controllo qualità.
Le operazioni svolte sono presentate nella figura successiva:

ELABORAZIONE CUSUM							
Stagione	xi = qUR	di = xi - xmedia	Σ(pos)	Σ(neg)	Accurato?	si	Preciso?
2017/2018	0,96335085	-0,094233442	0	-0,07308176	VERO	0	VERO
2018/2019	1,151817734	0,094233442	0,07308176	0	VERO	0,013285945	VERO

Figura 10-Elaborazione Cusum

In particolare, per ogni stagione i-esima di rilevazione viene:

- Calcolato il "$q_{UR,t}$" e aggiornata la media aritmetica di riferimento (valore obiettivo);
- Valutato lo scostamento, "d_i" tra il valore di "$q_{UR,t}$" stagionale e quello medio di riferimento;
- Calcolata la somma cumulata positiva "Σ(pos)" come:

$$\Sigma(pos)_i = max(0; \Sigma(pos)_{i-1} + d_i - k_x) \qquad (10)$$

- Calcolata la somma cumulata negativa "Σ(neg)" come:

$$\Sigma(neg)_i = min(0; \Sigma(neg)_{i-1} + d_i + k_x) \qquad (11)$$

- Confrontato il valore di "Σ(pos)" e "Σ(neg)" con il corrispondente limite della banda di controllo dell'accuratezza. Se entrambi, in valore assoluto, risultano minori rispetto al limite di controllo allora la lettura è considerata "accurata";
- Calcolata la somma cumulata degli scarti quadratici "s_i" come:

$$s_i = \max\left(0; s_{i-1} + \frac{(d_{i-1}+d_i)^2}{2} - k_s\right) \qquad (12)$$

- Confrontato il valore di "s_i" con il limite della banda di controllo della precisione. Se "s_i" è minore rispetto al limite, la lettura è considerata "precisa".

Al termine delle verifiche vengono aggiornati i seguenti grafici:

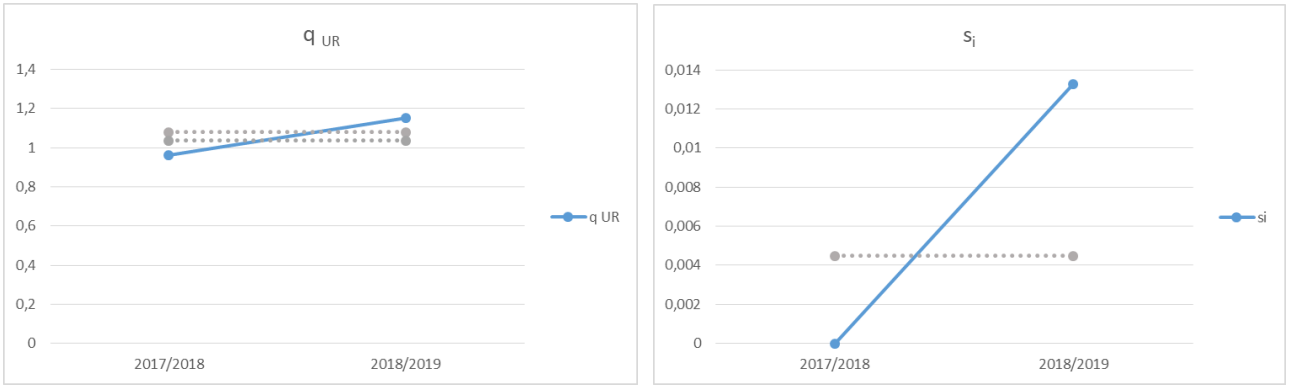


Figura 11-Andamento del $q_{UR,t}$ (a sx.) e della somma cumulata degli scarti quadratici (a dx.)

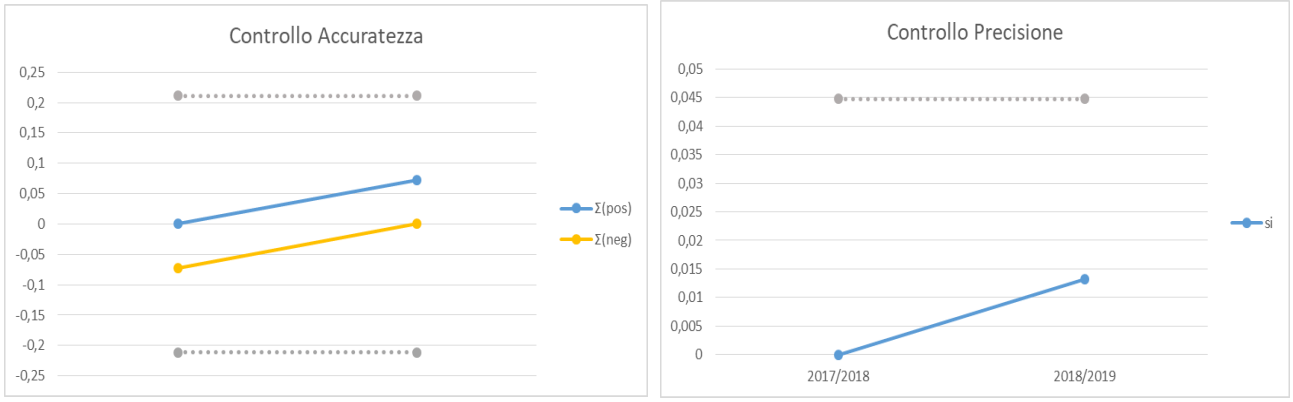


Figura 12-Diagramma Controllo Accuratezza (a dx.) e diagramma controllo precisione (a sx.)

Come osservabile in figura 11 e 12, il numero di punti su ciascun grafico è pari alla quantità di stagioni per cui è già stata condotta la lettura dei consumi. Il caso in esame (relativo ad uno dei condomini a saltuaria occupazione analizzati) mostra come, nonostante l'andamento delle grandezze riportate in figura 11 non sia strettamente limitato alla banda di tolleranza (tratteggiata in grigio), le letture risultino ancora "accurate e precise" (fig.9). Ciò è visibile anche tramite i due grafici in figura 12, in cui le rispettive somme cumulate positive e negative, così come la somma degli scarti quadratici medi, si mantengono all'interno dei limiti di controllo.

2. ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE

Come descritto nel d.lgs 102/2014, a partire dal 31 Dicembre 2016 nuovi obblighi di installazione di contatori di energia termica e acqua calda sanitaria hanno interessato gli edifici in cui l'erogazione di tali servizi è effettuata tramite l'utilizzo di sistemi di teleriscaldamento o di generazione centralizzata. Sebbene il Decreto consideri prioritaria l'installazione di sistemi di misura diretta del calore (brevemente indicati con la sigla "HM"[7]) per via della loro maggiore affidabilità e precisione nella misura [21], questa accetta la possibilità che vi siano casistiche, piuttosto diffuse all'interno del contesto territoriale preso in esame, in cui la misura diretta è da considerarsi non fattibile da un punto di vista tecnico-economico. Basti pensare alle due principali tipologie di sistema di distribuzione del fluido termovettore; un impianto a distribuzione orizzontale (tipico di costruzioni più recenti) è perfettamente compatibile con la misura diretta del calore prelevato dalla singola unità abitativa, tramite l'inserimento di un semplice contatore all'ingresso della derivazione dell'appartamento. Tuttavia, la stessa soluzione non può essere adottata efficientemente negli edifici in cui la distribuzione è di tipo verticale a colonne montanti. In questi, infatti, il fluido termovettore circola all'interno di montanti verticali che attraversano più appartamenti. Ciò non consente la contabilizzazione del calore individuale tramite l'utilizzo del singolo HM.

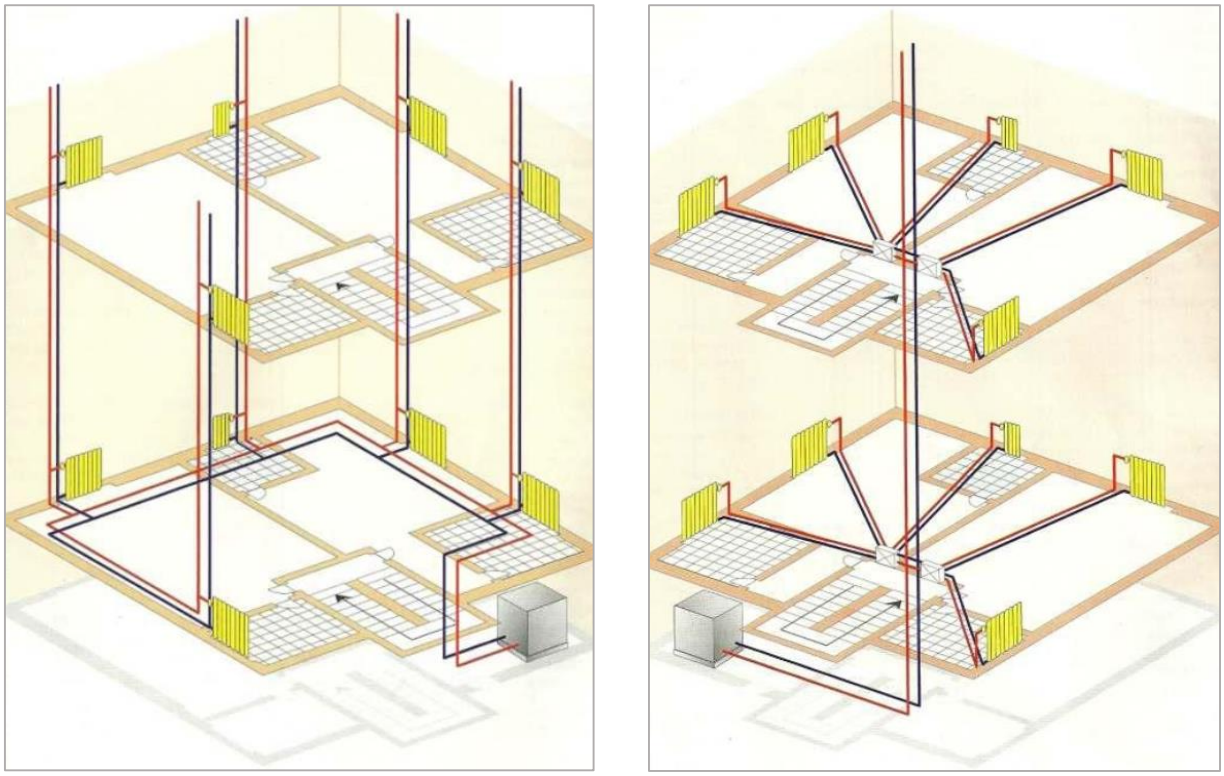


Figura 13-Impianto a distribuzione verticale (a sx.) e orizzontale a zone (a dx.) [22]

Le utenze dotate di sistema di distribuzione verticale, una volta comprovata la non fattibilità tecnico-economica tramite procedura certificata[8], possono avvalersi di quanto stabilito alla lettera c), art. 9 comma 5, del d.lgs 102/2014 (cfr. par. 1.6). Quest'ultimo, di fatto, concede la possibilità di sfruttare i contatori indiretti per l'attività di sub-metering individuale.

[7] "Heat Meters"
[8] Esposta nel decreto UNI EN 15459

Nei paragrafi seguenti si effettuerà una descrizione approfondita del funzionamento dei sistemi indiretti, concentrando l'attenzione principalmente sulle tecnologie impiantistiche utilizzate dalle utenze esaminate.

2.1. Contabilizzazione Indiretta del Calore

A differenza di come si opera nella corrispondente misura diretta, la contabilizzazione indiretta del calore non prevede il calcolo dell'energia prelevata dalle utenze in kWh termici. Quest'ultima, per quanto accurata, effettua una stima dell'energia emessa dai singoli terminali di erogazione attraverso procedure operative differenti, a seconda del tipo di sistema installato. Tale stima conduce alla determinazione di un parametro che prende il nome di "Unità di Ripartizione (o "unità calore"[9]). Le UR, pur non rappresentando a tutti gli effetti un'energia, sono proporzionali alla quantità di calore effettivamente prelevata dall'utenza. Sarà possibile ricondurre le UR ai kWh corrispondenti soltanto alla fine della stagione termica di riscaldamento, una volta noto il calore complessivamente prodotto in centrale termica o trasferito allo scambiatore secondario, qualora l'edificio sia allacciato ad una rete di teleriscaldamento.
Per le modalità con cui, a partire dalle UR misurate, viene ripartito il consumo volontario di energia termica di riscaldamento tra le varie unità abitative si rimanda al paragrafo 1.7.
I sistemi di contabilizzazione indiretta possono essere suddivisi in tre macro-categorie:

- Ripartitori di calore (*heat cost allocators*, HCA), i cui standard tecnici sono riportati nella UNI EN 834 [26];
- Sistemi di contabilizzazione del calore basati sui tempi di inserzione compensati con la temperatura media del fluido termovettore (*insertion time counter*, ITC-TC), regolamentati dalla UNI 11388 [25];
- Sistemi di contabilizzazione del calore basati sui tempi di inserzione compensati con i gradi giorno effettivi dell'unità immobiliare (*insertion time counter*, ITC- DDC), descritti dalla UNI 9019.

Tra questi, verrà fatta un'analisi più approfondita delle prime due tipologie, rimandando a studi di natura differente per la descrizione del funzionamento dei sistemi ITC-DDC. Tale scelta è giustificata dal fatto che gli edifici presi in esame durante l'analisi condotta al Capitolo 3 utilizzano unicamente sistemi ascrivibili alle prime due categorie. In particolare, maggiore attenzione verrà riposta sui totalizzatori compensati con temperatura media del fluido termovettore (ITC-TC). Questi ultimi, oltre ad essere presentati attraverso una disamina del loro funzionamento generale, costituiscono la famiglia di sistemi indiretti a cui appartiene la tecnologia analizzata nel paragrafo 2.1.4.

[9] Spesso indicato nel prosieguo della trattazione con la sigla UR

2.1.1. Ripartitori di Calore

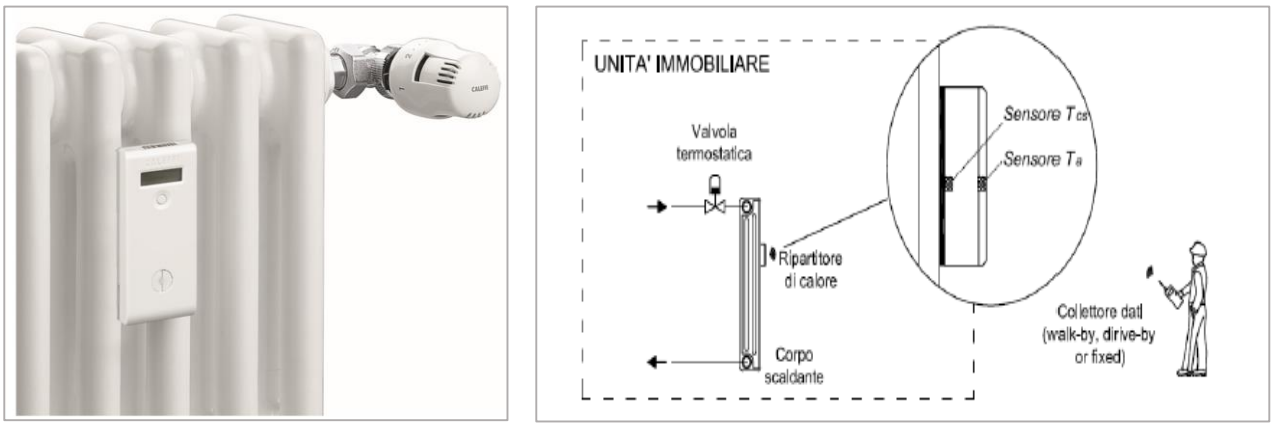


Figura 14 - Ripartitore di Calore [28], [27]

I ripartitori di calore rappresentano la tipologia più diffusa di sistema di contabilizzazione individuale. Questi costituiscono una soluzione di facile installazione e particolarmente efficace se accoppiata a terminali quali radiatori in ghisa o acciaio. Come mostrato in Figura 14, ciascun radiatore deve essere munito di un ripartitore, il quale è essenzialmente composto da:

- Un modulo di calcolo e trasmissione dati;
- Display di visualizzazione di UR e dei parametri di taratura;
- Uno o più sensori di temperatura, a seconda della tipologia di ripartitore;
- Batteria di alimentazione;
- Piastra metallica utilizzata per l'accoppiamento al radiatore.

La posizione di installazione del ripartitore deve essere tale da consentirgli una lettura accurata, a meno di un intervallo di incertezza fissato dalla UNI EN 834, della temperatura media della superficie del radiatore. Spesso la soluzione a cui si ricorre è di montare lo strumento al centro della lunghezza del radiatore e ad una quota pari al 75% della sua altezza. Tuttavia questo non rappresenta un vincolo assoluto, dovendo adattare l'installazione del ripartitore alle diverse tipologie di radiatore cui esso è accoppiato.

I ripartitori possono presentare un'unica sonda di temperatura (stabilendo convenzionalmente per il calcolo delle UR una temperatura ambiente pari a 20°C), due sensori di temperatura (uno per la temperatura media del radiatore e l'altro per la temperatura media dell'aria ambiente) o più sensori (ripartitori a sensore multiplo), dove ci si serve di almeno due sensori per l'elaborazione della temperatura del radiatore.

L'algoritmo di calcolo seguito per la determinazione delle UR, pur non essendo esplicitamente definito dalla UNI EN 834 [24], può consentire al ripartitore di restituire un valore di unità calore già tarato tramite opportuni fattori correttivi "K", il cui significato è esposto nel seguito.

L'operazione effettuata dal ripartitore consiste in un integrale temporale della differenza di temperatura percepita, tramite le sonde di temperatura, tra la superficie scaldante e l'aria ambiente:

$$UR = K_C\, K_Q\, K_T \int_\theta \left(\frac{\Delta T_{HCA}}{60}\right)^n d\theta \qquad (13)$$

Dove:

- "n" rappresenta l'esponente caratteristico del terminale (generalmente n=1,3);
- "ΔT_{HCA}" rappresenta, come detto, la differenza di temperatura tra radiatore e ambiente;

- K_C, fattore correttivo che tiene conto del fatto che la differenza di temperatura percepita dal ripartitore è influenzata da una non perfetta lettura della temperatura media del radiatore, oltre che dalla presenza di una resistenza termica di contatto tra il radiatore e la piastra di accoppiamento. Inoltre, l'elaborazione della temperatura ambiente può essere condizionata dalla presenza di scambi convettivi e radiativi nell'involucro dello strumento;
- K_Q, fattore correttivo della potenza nominale del radiatore nelle condizioni di reale esercizio. Spesso infatti esiste una profonda discrepanza tra la potenza dichiarata, calcolata in condizioni di prova, e quella effettivamente misurata al momento dell'installazione del corpo scaldante. Inoltre, il salto di temperatura registrato tra la mandata e il ritorno può differire rispetto al valore di riferimento utilizzato per determinare la potenza nominale nelle condizioni di test [30];
- K_T, fattore correttivo che considera la possibilità che la temperatura interna di progetto sia inferiore ai 20°C di riferimento. Questo fattore è spesso posto uguale a 1 e, dunque, trascurato nei casi più comuni. Subentra nel calcolo soltanto se il ripartitore è a sensore unico e la temperatura di progetto è inferiore a 16°C.

Si evidenzia che il motivo principale di incertezza nella misura effettuata dal ripartitore è spesso rappresentato, più che dalla determinazione della potenza nominale del terminale, dall'accoppiamento termico non perfetto tra esso e l'HCA, quindi dalla precisa valutazione del fattore correttivo "K_C" [24].

2.1.2. Sistemi ITC-TC

Rappresentano l'evoluzione tecnologica dei primi sistemi di ripartizione, semplicemente indicati come "conta-ore", basati sul calcolo dell'energia erogata a partire dal conteggio dei tempi di apertura delle valvole di zona.
Questa tipologia di sistema si differenzia dalla passata versione presentando la possibilità di "compensare" il computo delle ore di apertura della valvola attraverso la lettura delle temperature medie del fluido termovettore [27].
Rifacendosi allo schema funzionale sottostante, si evidenziano le principali caratteristiche del sistema:

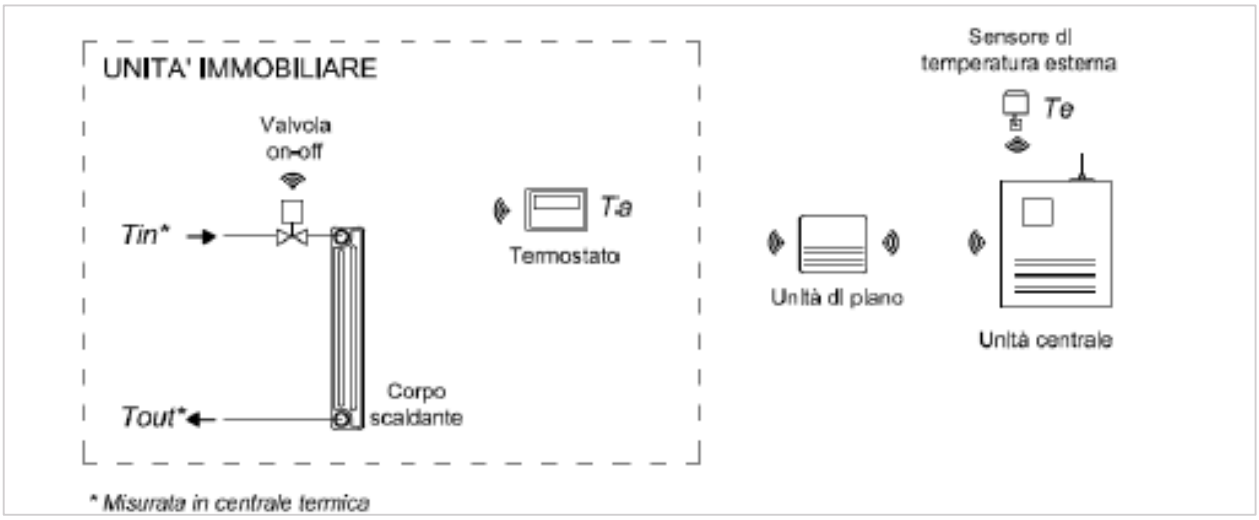


Figura 15-Sistem ITC-TC [27]

Ciascun terminale viene dotato di una valvola termostatica con sensore ON/OFF per il monitoraggio dei tempi di inserzione. Come per il caso degli HCA, questa tipologia di contabilizzatore presenta: un sistema di calcolo e trasmissione dati, sensori di temperatura ambiente e di temperatura di mandata e ritorno del fluido termovettore (installati in centrale termica), un sensore di temperatura esterna e un display di visualizzazione delle unità calore conteggiate.
Il comando di apertura/chiusura della valvola termostatica viene inviato dal termostato ambiente, programmato per mantenere il locale alla temperatura di comfort seguendo appositi programmi di regolazione.
Il conteggio delle unità di ripartizione si effettua nel seguente modo:

$$UR_{tot} = UR_{aperto} + UR_{chiuso} \qquad (14)$$

L'equazione 14 mostra la necessità di conteggiare sia le UR relative ai periodi in cui la valvola termostatica è aperta, sia le UR associate alla fase di raffreddamento del radiatore. Ciò tiene conto del fatto che il terminale, presentando un'inerzia chiaramente più alta rispetto a quella del comando elettronico di chiusura della valvola, si trova ad una temperatura media sufficientemente elevata da rendere non trascurabili gli scambi termici che avvengono durante il transitorio di raffreddamento del radiatore.
I due contributi vengono valutati seguendo le indicazioni della UNI 11388 [25]:

$$UR_{aperto} = \int_{\theta_{ap}} \dot{Q}_i \, d\theta = K \, \dot{Q}_{nom} \int_{\theta_{ap}} FCN(\theta) \, d\theta = K \, \dot{Q}_{nom} \int_{\theta_{ap}} \left(\frac{T_{m,i} - T_{a,i}}{T_{m,c} - T_{a,c}}\right)^n d\theta \qquad (15)$$

L'uguaglianza tra secondo e terzo membro evidenzia come la potenza istantanea "$\dot{Q}_i$" emessa dal radiatore differisca rispetto a quella nominale "$\dot{Q}_{nom}$" per via del "Fattore di carico Normalizzato", FCN, calcolato a partire dai valori di temperatura che caratterizzano lo scambio termico.
"$T_{m,i}$" e "$T_{a,i}$" rappresentano rispettivamente la temperatura media, tra ramo di mandata e ritorno, del fluido termovettore e la temperatura di progetto dell'aria dell'ambiente riscaldato (20°C). Questa differenza è rapportata alla differenza delle corrispondenti temperature convenzionali. Anche in questo caso, lo scambio termico non è linearmente proporzionale alla differenza di temperatura, come indicato dall'esponente "n".
Il secondo addendo della (14) si calcola come:

$$UR_{chiuso} = \int_{\theta_{ch}} \dot{Q}_i \, d\theta = K\dot{Q}_{nom} \left(\frac{T_{m,i,c} - T_{a,i}}{T_{m,c} - T_{a,c}}\right)^n \int_{\theta_{ch}} e^{-n\frac{\theta}{\tau}} \, d\theta \qquad (16)$$

Che risolvendo diventa:

$$UR_{chiuso} = K\dot{Q}_{nom} \left(\frac{T_{m,i,c} - T_{a,i}}{T_{m,c} - T_{a,c}}\right)^n \frac{\tau}{n} \left(1 - e^{-n\frac{\theta_{ch}}{\tau}}\right) \qquad (17)$$

Rispetto alla (15), il fattore di correzione delle temperature tiene conto di una temperatura media del fluido $T_{m,i,c}$ alla chiusura della valvola. Figurano inoltre il tempo di chiusura della valvola "θ_{ch}" e la costante di tempo del transitorio di raffreddamento del radiatore τ, funzione della capacità termica e della trasmittanza del terminale.

2.1.3. Valvole Termostatiche

Fino ad ora si è discusso unicamente di sistemi con il compito di contabilizzare il calore erogato dai terminali scaldanti. Tuttavia, come è facile osservare anche dalle figure 14 e 15, queste soluzioni tecnologiche sono normalmente accoppiate all'utilizzo di valvole termostatiche. Queste rappresentano lo strumento essenziale per assicurare una gestione ottimale dell'impianto di riscaldamento, che contenga gli sprechi energetici e al contempo assicuri il comfort negli ambienti climatizzati.
Del resto risulta difficile non pensare al risparmio energetico come ad un sinonimo di "sacrificio energetico" [29] se non si dispone degli strumenti necessari a mantenere il benessere termico negli ambienti. Per queste ragioni è bene approfondire più nel dettaglio come viene realizzata la termoregolazione e quali tipologie di valvole termostatiche vengono utilizzate nei sistemi attualmente più diffusi.
L'operazione svolta dalle valvole termostatiche è quella di effettuare una regolazione della portata di fluido scaldante che circola all'interno del radiatore. In questo modo, non variando la superficie di scambio termico e (in linea teorica) il salto di tempera che interessa il fluido termovettore, un apporto ridotto di quest'ultimo all'interno del corpo scaldante ha l'effetto di diminuire la potenza irradiata in ambiente.
La termoregolazione può essere di tipo manuale o automatica; la prima rappresenta sicuramente la tipologia meno dispendiosa in termini strettamente economici [31]. Le valvole vengono dotate di una testina termostatica con scala graduata, dove a ciascun indice della scala corrisponde una temperatura di set-point. Le figure seguenti permettono di visualizzare il componente e di riassumerne più facilmente il funzionamento:

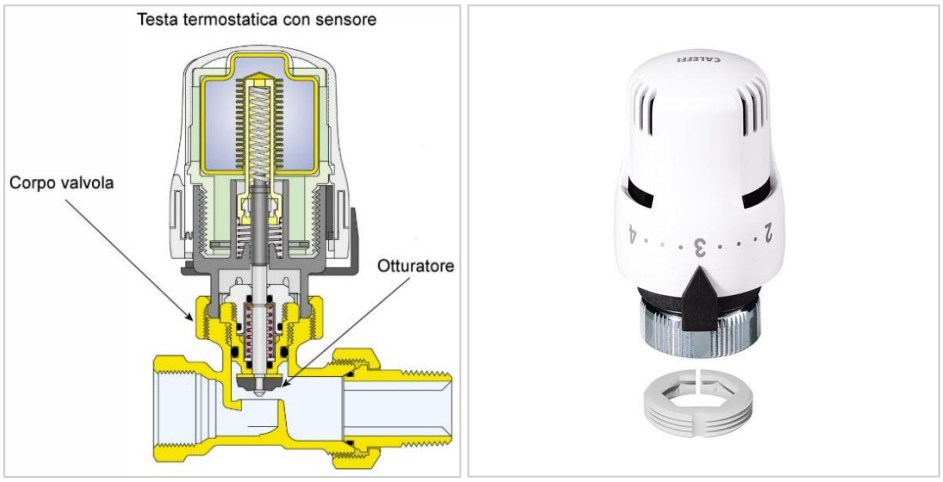


Figura 16-Valvole termostatiche con regolazione manuale [31] [32]

Si distinguono tre componenti principali: il corpo valvola, con pistone e otturatore, la manopola di regolazione (nella parte destra della figura 16) e il bulbo di dilatazione, grazie al quale si realizza il restringimento della sezione di passaggio del fluido [33].
Il posizionamento della testina su uno specifico valore della scala determina una pre-regolazione della posizione dell'otturatore. Se la temperatura rilevata dal bulbo termosensibile è più alta di quella di set-point, il bulbo si dilata tendendo a chiudere l'otturatore. Viceversa, se la temperatura dell'aria è minore, il bulbo si contrae consentendo una maggiore apertura della valvola.
Un problema tipico di questi sistemi, che ha un impatto rilevante anche sulla percezione del loro reale funzionamento, è rappresentato dal corretto posizionamento del bulbo termosensibile. Sarebbe bene installare il bulbo in una posizione che gli permetta di rilevare correttamente la temperatura ambiente.

Il rischio che spesso si corre è che, quando montato direttamente sul corpo valvola, il bulbo rilevi una temperatura più alta di quella effettivamente presente in ambiente, poiché influenzato dalla vicinanza con il corpo scaldante. Da ciò consegue una termoregolazione errata, condotta con un sistema che tende a diminuire la portata di fluido scaldante più di quanto non dovrebbe. Non a caso alcune proteste frequenti da parte dell'utenza sono legate ad un ambiente poco confortevole, pur avendo un radiatore "tiepido" al tatto.
Sarebbe possibile ovviare al problema installando il bulbo più lontano rispetto al corpo scaldante, o utilizzare un tipo di regolazione con valvole dotate di testina elettronica programmabile, che, come vedremo nel seguito, effettuano una regolazione automatica con cronotermostato.

Figura 17-Esempio Testina Elettronica [34]

Quest'ultima soluzione consente inoltre di impostare dei programmi giornalieri, settimanali o stagionali, che evitino l'azione manuale dell'utente, spesso indotto verso azioni energeticamente più dispendiose.
La tipologia di valvola installata sul radiatore determina, inoltre, il tipo di regolazione effettuata sul sistema di distribuzione. Si distingue tra regolazione a portata costante o a portata variabile; il primo tipo di regolazione è caratteristico di sistemi dotati di by-pass, ed è quello "meno problematico" [31]. Il sistema di distribuzione, infatti, qualunque sia il numero di valvole aperte, è soggetto ad un unico valore di portata, mantenuta fissa dalla presenza del by-pass. Un esempio è riportato nella parte destra della figura 18.

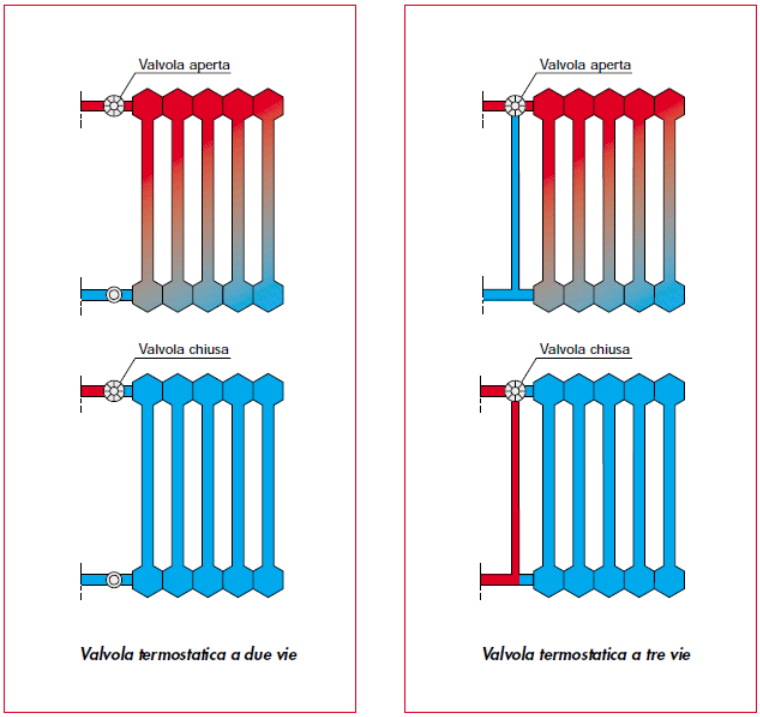


Figura 18-Sistema con regolazione a portata variabile (valvola a due vie) e portata costante (valvola a tre vie) [31]

Tuttavia, i sistemi dotati di by-pass non sono particolarmente diffusi in Italia, per ragioni di ingombro o estetiche, e si tende a preferire i sistemi con valvole a 2 vie (figura 18 a sx.). Queste, se non accoppiate a componenti quali valvole di sforo o regolatori di pressione atti a compensare gli squilibri indotti sul sistema di distribuzione, possono essere causa di non pochi problemi, ad esempio di rumorosità in corrispondenza delle sezioni di valvola, pompe dal funzionamento poco regolare e surriscaldamento dell'acqua in caldaia.
L'eccessiva rumorosità si verifica quando diverse valvole del sistema di distribuzione si trovano in posizione di chiusura. La prevalenza spesa dalla pompa a giri fissi per far circolare il fluido in tutti i radiatori risulta eccessiva rispetto al numero di circuiti rimasti aperti. Il surplus di energia di pressione viene quindi "speso" interamente sui sistemi aperti, in particolare in corrispondenza delle sezioni di valvola in cui si registra un picco pressione differenziale. Ciò causa l'insorgere di fenomeni di cavitazione, cioè forti vibrazioni e martellamenti in corrispondenza della sezione di valvola.
La presenza di una portata troppo bassa rispetto alle condizioni di progetto ha come effetto quello di far lavorare la pompa "fuori" dalla propria curva caratteristica, con il rischio bruciare il motore. Una soluzione tipica di impianti più moderni è quella di installare pompe ad inverter, in modo da regolare la velocità di rotazione in funzione della richiesta dell'impianto.
Come anticipato, anche la caldaia risente di una scarsa circolazione del fluido termovettore; se quest'ultimo non riesce ad asportare potenza termica a sufficienza all'interno del generatore, a causa di una portata troppo bassa, c'è il rischio che l'acqua in caldaia surriscaldi, innescando i dispositivi di sicurezza a riarmo manuale che bloccano l'impianto.

2.1.4. Termo-Autonomo Wireless

In questa fase viene analizzata la soluzione commerciale adottata da alcune delle utenze esaminate nel capitolo successivo. L'obiettivo è di fornire una descrizione esaustiva del funzionamento del Termo-Autonomo [35], caratterizzando le parti principali che lo compongono. Viene presentata anche l'architettura complessiva del sistema, mostrando come le singole unità siano in grado di comunicare tra loro per rispondere in modo quasi istantaneo alle esigenze di gestione dell'utente finale.
Il sistema Termoautonomo viene classificato come totalizzatore ad ore compensate. Questo segue la procedura certificata dalla norma UNI 11388 per il calcolo indiretto dei consumi di calore.
Si riporta nel seguito lo schema funzionale del sistema:

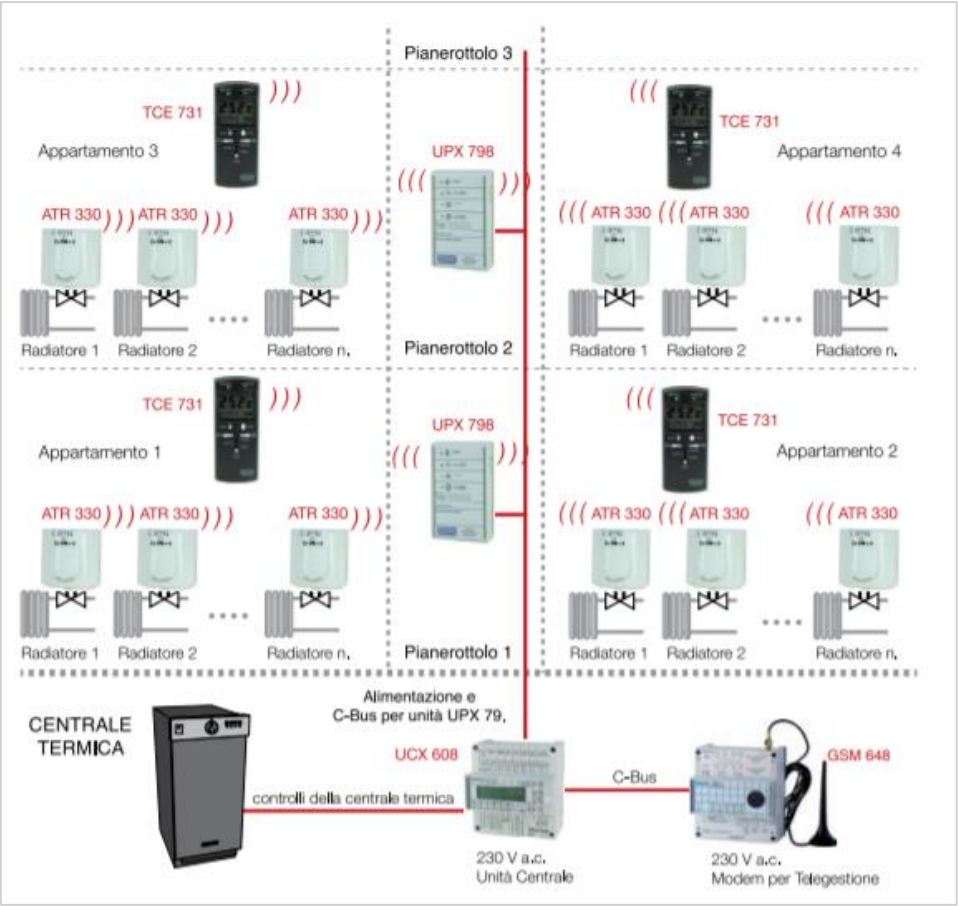


Figura 19-Architettura Sistema TAW [35]

Partendo dal singolo appartamento, l'utente dispone di un telecomando, TCE 731, che rappresenta l'equivalente di un cronotermostato. Si utilizza per impostare manualmente la temperatura nei locali (fino ad un massimo di 3 zone termiche) e programmare regolazioni giornaliere/settimanali. Offre anche la possibilità agli utenti di visualizzare l'indicatore percentuale CUI (definito nel seguito) per consentire una gestione più consapevole del sistema.
Il telecomando comanda via wireless un regolatore/servomotore, ATR 330, posto sulla valvola termostatica di ogni radiatore. Il regolatore rappresenta a tutti gli effetti una testina termostatica "smart" a comando elettronico. Trattandosi di un sistema ON/OFF, non appena si raggiunge la temperatura impostata tramite il telecomando, o tramite azione manuale sul regolatore stesso, il sistema interrompe il passaggio di fluido all'interno del radiatore.

Figura 20-Regolatore/Servomotore e Telecomando [35]

È interessante notare come questa tipologia di sistema consenta di superare, anche se parzialmente, il problema della lettura erronea della temperatura del locale riscaldato. Trattandosi di una regolazione elettronica, il motore che comanda l'apertura della valvola può essere programmato per mantenere un tempo minimo di apertura dopo ogni transizione da OFF a ON.
Come si è accennato, la posizione del sensore di temperatura ambiente è fondamentale per una corretta gestione dell'impianto, ma spesso questo viene disposto nelle immediate vicinanze del corpo scaldante, percependo una temperatura più alta di quella media ambientale e dunque non veritiera. La programmazione di un tempo minimo di accensione consente alla valvola di rimanere aperta anche quando la temperatura misurata dal sensore è più alta di quella di set-point, aggirando così l'informazione "errata". Ogni 15 minuti l'unità di Controllo Centrale, UCX 608 (descritta più avanti), interroga i termostati di zona, effettuando una rilevazione delle temperature di interesse e del numero di radiatori in stato di ON.
Per ogni piano viene installata un'unità UPX 79 che svolge, per un massimo di 9 appartamenti, tutte le azioni utili alla regolazione e contabilizzazione. Rappresenta l'unità di raccordo tra i singoli appartamenti e l'unità centrale, registrando i programmi impostati con il telecomando e inviandoli via C-Bus all'UCX. Fra le altre funzioni, comunica all'unità centrale il numero di radiatori aperti in tempo reale ed elabora tutti gli allarmi di appartamento, tra cui avvisi di possibile malfunzionamento dei regolatori.
Infine, installata tipicamente nel locale caldaia, troviamo l'unità centrale di controllo (Master) UCX 608. Questa può controllare fino ad un massimo di 99 appartamenti e gestire tutte le operazioni necessarie ad un corretto funzionamento dell'impianto centralizzato, in funzione della richiesta dell'utenza (espressa tramite i programmi impostati col termoautonomo).
Comanda una generazione termica a regime variabile in base alla domanda dei singoli inquilini, imponendo, ad esempio, lo spegnimento (o il programma antigelo) delle pompe e dei bruciatori quando riceve l'informazione che tutti, o quasi, i radiatori sono in stato di OFF. L'UCX consente anche l'invio di SMS informativi sullo stato dell'impianto e offre la possibilità di un controllo da remoto tramite PC, per un monitoraggio da parte del gestore in tempo reale.
In funzione del numero di radiatori accesi, se presente una pompa a giri variabili, l'UCX effettua la modulazione del numero di giri di funzionamento della pompa.
L'unità posta in centrale termica viene dotata di una sonda esterna e di due sonde per la registrazione della temperatura di mandata e di ritorno del fluido all'impianto.
Infine, un modem consente di collegare le unità periferiche alla linea GSM.

Figura 21-Da sx. a dx.- Unità di Pianerottolo UPX, Unità di Controllo Centrale UCX e Modem GSM [35]

Trattandosi di un sistema di contabilizzazione indiretta, la misura del calore volontario prelevato dagli utenti viene espressa in termini di "Punti Anno". All'incirca 1 PA corrisponde a 1 m3 di gas o 1 kg di gasolio (circa 10 kWh). In particolare, si definiscono:

- PA uso, punti anno effettivamente utilizzati dall'utente durante il periodo di riscaldamento.

Questi vengono calcolati seguendo le indicazioni della UNI 11388, considerando sia la fase di apertura sia la fase di chiusura del radiatore (equazioni 15 e 16 risolte con passo di integrazione pari a 15 min [36]);

- PA max, unità calore associate allo stesso radiatore supponendo valvola termostatica sempre in posizione di apertura. I PA max ipotizzano uno scenario di sistema non provvisto di termoregolazione. Anche questi vengono calcolati utilizzando l'equazione 15 (non viene considerata la fase di chiusura del radiatore);
- CUI %, un coefficiente di utilizzazione individuale dell'impianto, calcolato come rapporto tra i PA uso e i PA max relativi alla singola unità immobiliare. L'indice può informare l'utenza su come si è "comportata" in termini di risparmio energetico a partire dall'introduzione del sistema TAW;
- CUC %, coefficiente di utilizzazione condominiale, dato dal rapporto tra la somma di tutti i singoli PA uso e PA max dei vari appartamenti.

L'utente finale ha a disposizione, attraverso il telecomando/cronotermostato, l'indicazione del proprio CUI. Tuttavia, si ritiene difficile che, da solo, quest'ultimo possa consentire l'elaborazione di un giudizio esaustivo sul proprio profilo di consumo, specie nei casi di soggetti con poca familiarità con il sistema. La seconda parte dell'elaborato si concentrerà proprio su questa criticità; verrà condotto uno studio avente l'obiettivo di sviluppare un sistema di feedback più immediato per "l'inquilino medio", in modo da consentirgli una valutazione più semplice dei propri consumi.
Non sono però da sottovalutare indicazioni quali, ad esempio, quella sul CUC. Quest'ultimo può informare l'amministratore di condominio sul grado di occupazione medio dello stabile. Infatti, proprio il CUC verrà incluso all'interno dell'indice di valutazione del risparmio stagionale, come si esporrà nel capitolo dedicato all'analisi dei consumi.
L'importanza di un sistema con le caratteristiche esposte è resa evidente dalla presenza di un software che consente ai gestori del servizio di monitorare lo stato di funzionamento dell'impianto in tempo reale, ogni qualvolta essi lo desiderino.
Si osservi come, tramite PC, o Cloud installato su smartphone, si possa accedere ai dati registrati dall'unità centrale UCX, differenziati per i vari appartamenti.

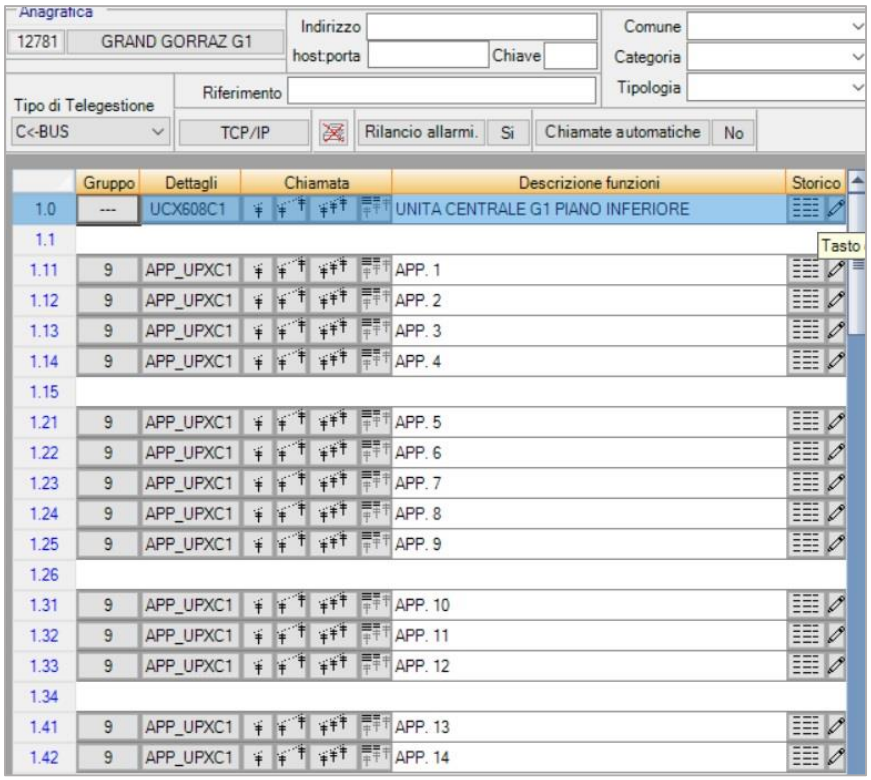


Figura 22-Interfaccia principale del software SWC per la lettura dei dati di un condominio dotato di sistema Termoautonomo

Ad esempio, è possibile conoscere attraverso una chiamata del sistema da remoto, o accedendo allo storico delle letture programmate, quali radiatori sono attivi al momento della chiamata, visualizzando le temperature di set-point (programmate con cronotermostato) e quelle misurate nei diversi locali riscaldati.

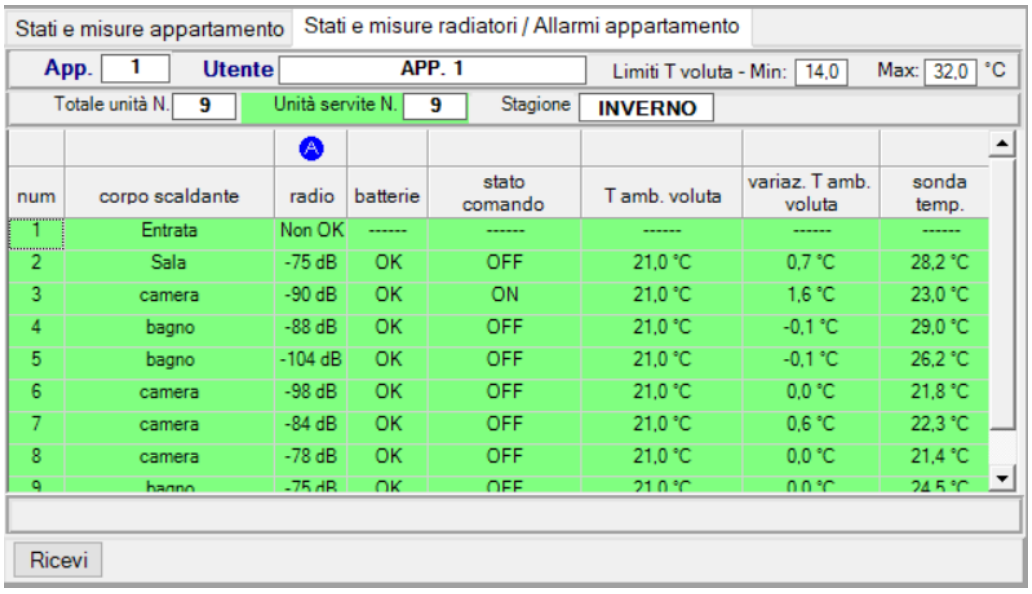


Figura 23-Panoramica dello stato di utilizzo del sistema nel singolo appartamento

Informazioni di questo tipo semplificano notevolmente la gestione dell'impianto e assicurano il suo corretto funzionamento, segnalando per tempo le anomalie riscontrate, oltre a fornire importanti indicazioni sul profilo di consumo medio del condominio.

Si evidenzia infine che, dal punto di vista della classificazione proposta dalla norma UNI EN 15232 [37] il sistema TAW si colloca in classe A [60]. Infatti, questo offre la possibilità di utilizzare un impianto di riscaldamento centralizzato sfruttando i vantaggi di una gestione "autonoma" da remoto. Il cambio di paradigma da impianto "caldaiocentrico" a "inquilinocentrico" [39] permette all'utente di consumare energia soltanto quando questo la richiede, non dovendo più adattare i propri fabbisogni agli orari fissi di accensione dei generatori centralizzati. La figura seguente schematizza il concetto appena esposto.

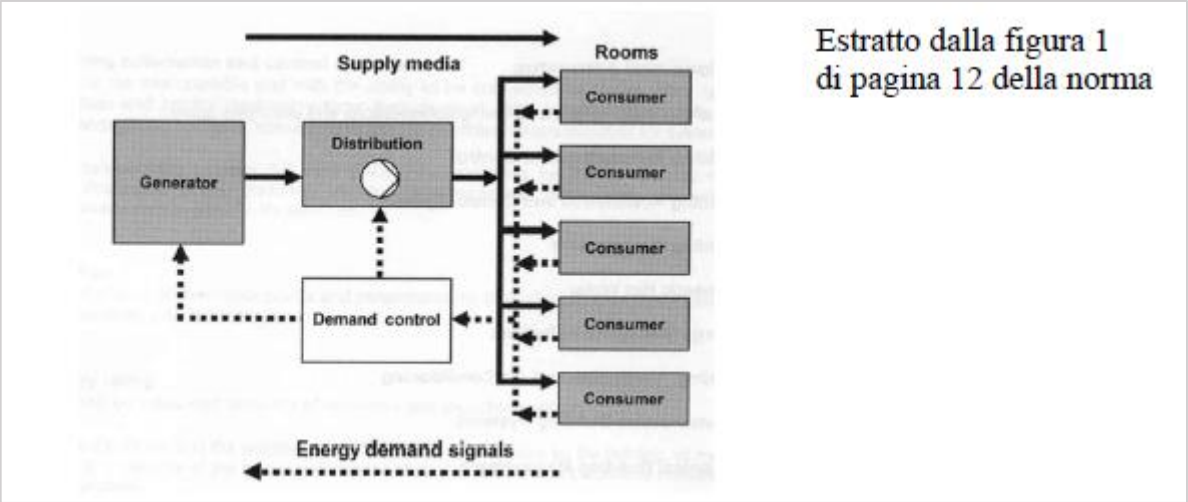


Figura 24-Energia fornita dal generatore sulla base dei flussi di richiesta inviati dall'utenza [39]

3. ANALISI DEI CONSUMI ENERGETICI

L'obiettivo di questa parte dell'elaborato è di verificare gli effetti dell'introduzione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore, nel rispetto delle disposizioni dell'attuale normativa vigente, valutando quale impatto questi hanno avuto sui consumi di riscaldamento per alcune utenze rappresentative del settore residenziale (e non solo).
Il campione selezionato per l'analisi include principalmente edifici situati nel Nord Italia, interessando in particolare sia utenze dislocate nella provincia di Torino e Milano (zona climatica E), sia edifici con sede ad Aosta (zona climatica F), caratterizzati da stagioni di riscaldamento più lunghe e rigide.
Scopo della ricerca è quello di includere nell'analisi edifici dall'utilizzo più eterogeneo possibile. Si anticipa infatti che, nonostante buona parte dei condomini selezionati vengano utilizzati come "prime case", si potranno fare delle considerazioni anche in merito a sistemi di termoregolazione installati su "seconde case", dunque edifici ad occupazione saltuaria. Infatti i due condomini di Aosta, in particolare situati nelle località di Brusson e Gressan, sono prevalentemente impiegati come "case vacanza". Per ultimo, è stato possibile reperire informazioni anche sui consumi di riscaldamento relativi ad una scuola nella città di Milano.
Il risparmio raggiunto grazie all'impiego della termoregolazione è strettamente legato alla tipologia di sistema installato. È lecito infatti attendersi che una regolazione di tipo manuale, che necessita dell'intervento fisico dell'inquilino, porti a risparmi in media inferiori rispetto ad una programmazione dei profili di carico automatica e gestibile da remoto. Il tema è indissolubilmente legato a concetti di "termopsicologia" [40]: un utente medio che sente freddo, se dotato di valvola con testina manuale, è più facilmente indotto ad aumentare l'apertura della valvola e a dimenticare di riportarla in posizione di comfort quando non è più necessario riscaldare l'ambiente. Al contrario un sistema con regolazione automatica, soddisfatta l'esigenza temporanea dell'utente, può riportarsi in automatico nella condizione di comfort e prevenire ulteriori sprechi.
Ancora una volta, a svolgere un ruolo di primaria importanza è l'utenza finale. In alcuni casi si osserva che, a fronte di un risparmio iniziale dovuto all'introduzione della regolazione, si registrano inaspettati aumenti di consumo provocati da una gestione disattenta o poco oculata del sistema. Per raggiungere un risparmio che sia rilevante, è indispensabile informare, anche in modo semplificato, gli utenti sul funzionamento della tecnologia introdotta, e sensibilizzarli su tematiche di risparmio energetico.
Ciascun paragrafo sarà destinato ad un'utenza differente. Per ognuna di queste verranno fatte delle considerazioni sui risparmi conseguiti, sul tipo di sistema installato – ripartitori o totalizzatori a ore compensate – e sulle ipotesi utilizzate per la valutazione dei consumi.
In generale, i consumi di ogni stagione di riscaldamento verranno divisi per i rispettivi gradi giorno registrati, in modo da effettuare un confronto tra grandezze coerenti che non tenga conto della variabilità climatica tra una stagione e l'altra.

3.1. Utenza 1 Torino

L'utenza selezionata presenta un sistema di termoregolazione e contabilizzazione realizzato con valvole termostatiche, dotate di testina a regolazione manuale, e ripartitore (sistemi UNI EN 834). I dati raccolti ci permettono di effettuare sia delle considerazioni a livello globale per l'intero edificio sia per singolo appartamento.
A partire dalla stagione di riscaldamento 2004/2005 si è ricostruito, tramite letture a consuntivo, lo storico dei consumi di riscaldamento. Si dispone dell'informazione sui m3 di metano contabilizzati

in bolletta dal fornitore del servizio e sulla durata del periodo di accensione dei radiatori (colonna "Giorni Risc").
I dati meteo sono reperiti dalle registrazioni effettuate da Arpa Piemonte per il periodo 15 Ottobre-15 Aprile [41]. Tuttavia, per le stagioni in cui il servizio di riscaldamento è stato prolungato oltre il 15 Aprile, il calcolo dei gradi giorno restanti è stato condotto a partire dall'informazione sulla temperatura media giornaliera (o mensile) registrata online [42].
Come osservato in Tabella 1, il consumo è espresso in termini di m3 consumati per GG. Le stagioni evidenziate in giallo sono quelle successive all'installazione delle valvole termostatiche e dei ripartitori.
In questo caso, il condominio rientra nella casistica di edifici che hanno provveduto all'introduzione di sistemi di contabilizzazione prima della scadenza prevista dal d.lgs. 102/2014. Ciò ha consentito di effettuare una ripartizione dei costi che attribuisce il 60% della spesa totale ai consumi volontari e il 40% alla componente involontaria [17].

	Stagione	m3	GG	Giorni Risc	Consumo [m3/GG]	Media Pre	Risparmio 1	Risparmio 2
Stagioni PRE	2004/2005	43348	2400	192	18,06	-	-	-
	2005/2006	33378	2437	181	13,70	-	-	-
	2006/2007	28570	1874	181	15,25	-	-	-
	2007/2008	36617	2253	187	16,25	-	-	-
	2008/2009	36298	2295	189	15,82	-	-	-
	2009/2010	40464	2596	204	15,59	-	-	-
	2010/2011	36576	2279	181	16,05	-	-	-
	2012/2013	34850	2348	181	14,84	15,69	0,00	0
Stagioni POST	2013/2014	24498	2045	200	11,98	-	-23,67	0
	2014/2015	24304	2031	191	11,97	-	-23,75	-0,11
	2015/2016	22538	2080	181	10,84	-	-30,96	-9,55
	2016/2017	28859	2157	211	13,38	-	-14,75	11,68
	2017/2018	27435	2407	206	11,40	-	-27,37	-4,85
	2018/2019	20399	2251	210	9,06	-	-42,26	-24,35

Tabella 1-Storico Consumi Utenza 1 Torino

L'installazione delle termovalvole e HCA è avvenuta nell'estate del 2013. Nello stesso periodo è stata sostituita la caldaia centralizzata, passando ad un sistema a condensazione che assicuri un'efficienza di produzione maggiore. Per questo motivo, il risparmio registrato tra le stagioni pre e post-intervento di retrofit è influenzato, oltre che dall'inserimento dei sistemi di contabilizzazione, soprattutto da una generazione molto meno energivora.
Si è cercato allora di separare il risparmio derivante dall'utilizzo della caldaia a condensazione da quello relativo alla sola termoregolazione; la colonna indicata come "Risparmio 1" confronta i m3/GG registrati a partire dal 2013/2014 (prima stagione con termoregolazione) con la media dei consumi registrati nel periodo precedente al retrofit del sistema ("Media Pre"), non distinguendo fra i due contributi di risparmio (caldaia e termoregolazione). Nella colonna "Risparmio 2" si è scelto invece come anno di riferimento per la valutazione dei risparmi il primo immediatamente successivo all'introduzione della nuova caldaia. Supponendo invariato il rendimento di generazione, quest'ipotesi equivale ad attribuire alla sostituzione della caldaia tutti i risparmi conseguiti durante la stagione 2013/2014. Pur trattandosi di una semplificazione, è realistico ipotizzare un primo periodo necessario all'utente per abituarsi all'utilizzo del nuovo sistema di termoregolazione. Alla luce di quest'ultima considerazione, i risultati ottenuti possono essere riassunti come segue: se si includono gli effetti della nuova caldaia sul risparmio complessivo, il consumo di gas metano per grado giorno diminuisce nell'intervallo 15 ÷ 42% (con media del periodo "post" pari al 27%). Questo rappresenta un risultato particolarmente vantaggioso se si tiene conto, in fase di analisi economica, della possibilità di accedere agli incentivi di detrazione del 65% delle spese sostenute, poiché relative a

interventi di retrofit dell'impianto di generazione termica finalizzati al risparmio energetico (Ecobonus 2020 [43]). Il recupero dall'investimento iniziale si è infatti verificato dopo soli 3 anni dall'introduzione della nuova caldaia.
Discorso diverso vale se si considerano unicamente gli effetti della contabilizzazione. Per questi ultimi ci si attende un risparmio compreso tra lo 0 e il 15%, in accordo a quanto già dimostrato in attività di ricerca simili [4]. Pur registrando un risparmio medio del 5,4%[10] (colonna "Risparmio 2") che sembra confermare l'ipotesi di partenza, sono da segnalare un sovra-consumo pari all'11% nella stagione 2016/2017 e un risparmio massimo del 24% nella stagione 2018/2019.
Si ritiene altrettanto importante commentare i dati di consumo relativi ai singoli appartamenti, per alcuni casi in cui è più evidente il rapporto tra l'utenza e il sistema di termoregolazione.
In particolare, si osservi l'andamento dei consumi, espresso in termini di UR stagionali, riportato in figura 25:

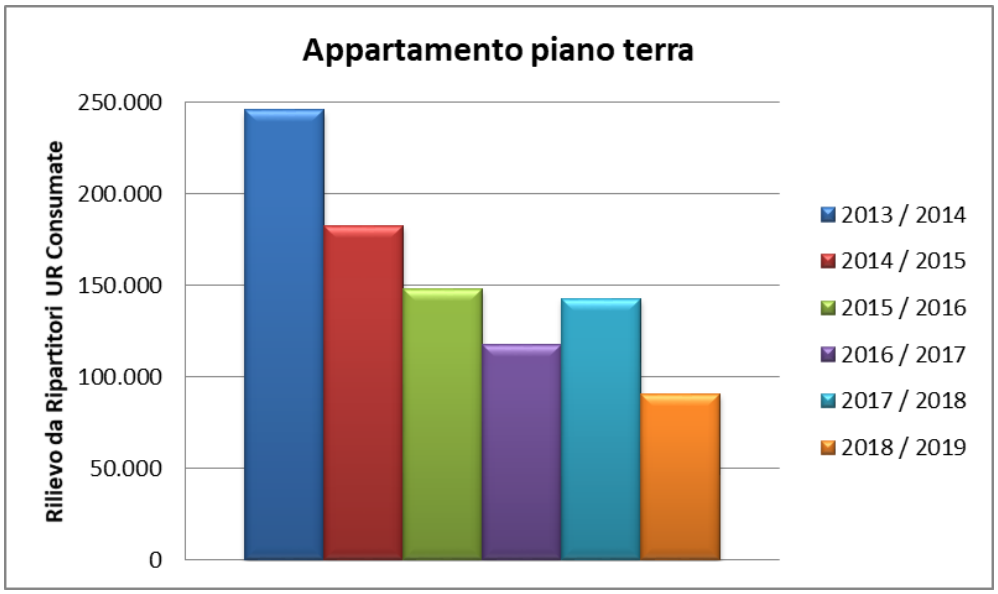


Figura 25-Storico Consumi Utente "Sensibilizzato"

Quest'ultimo rappresenta un caso estremamente particolare di gestione "consapevole" del sistema. L'utenza, per il primo anno dall'introduzione della termoregolazione, ha scelto di non installare la testina termostatica manuale sulle valvole di ciascun radiatore. È stata informata però della necessità di dover montare il ripartitore su ognuno dei terminali, in modo da contabilizzare i prelievi volontari di calore. Nella prima stagione 2013/14, vista la totale assenza di controllo sulla potenza erogata, ha fatto registrare il consumo più alto rispetto agli altri inquilini. Negli anni successivi, pur mantenendosi scettica sul funzionamento della testina termosensibile, ha scelto di regolare manualmente l'apertura della valvola sulla base dell'indicazione letta di volta in volta su un termometro posizionato all'interno del locale. È evidente il risparmio conseguito avendo chiaro lo scopo della termoregolazione e contabilizzazione: spendere in proporzione a quanto consumato e, dunque, consumare solo quando necessario.
La figura 26 successiva mostra, come controesempio, il tipico andamento dei consumi registrati per un utente meno attento al monitoraggio del sistema. Si osservi come nella prima stagionalità, rispetto al corrispondente valore di figura 25, il valore delle unità di ripartizione sia sensibilmente inferiore, pur trattandosi di appartamenti mediamente abitati per un numero di ore giornaliere confrontabile.

[10] Media del periodo "Post" dei valori riportati nella colonna "Risparmio 2"

Ciò può essere giustificato non soltanto dalla presenza delle valvole termostatiche nel secondo appartamento, ma anche dalla diversa locazione delle due abitazioni all'interno del condominio.
A partire dall'introduzione della contabilizzazione negli edifici residenziali, infatti, si è resa più evidente la differenza tra il fabbisogno - espresso in kWh/m2 - di un edificio situato in un piano intermedio ed uno situato a piano terra o ultimo piano, maggiore per quest'ultimi a causa di una più consistente dispersione termica verso l'esterno. Una ripartizione delle spese che favorisce l'attribuzione di una quota maggioritaria alla voce dei "consumi volontari" induce indirettamente ad un esborso superiore gli appartamenti termicamente "più svantaggiati", a parità di condizioni di regolazione. Quest'ultimo punto rappresenta una delle principali ragioni per cui gli utenti soggetti a tale condizione lamentano un peggioramento, in termini di spese di riscaldamento, a partire dall'installazione delle termovalvole e dei ripartitori, accompagnato dalla forte diffidenza verso tali sistemi.
Al netto di tale osservazione, però, si evidenzia in figura 26 come una gestione poco attenta della termoregolazione – possibilmente caratterizzata da frequenti episodi in cui la testina termostatica viene lasciata in una posizione di apertura maggiore rispetto alle reali esigenze di comfort, o da un utilizzo continuo dei radiatori anche in presenza di finestre – conduca a progressivi aumenti dei consumi di calore, a scapito del risparmio energetico ed economico.

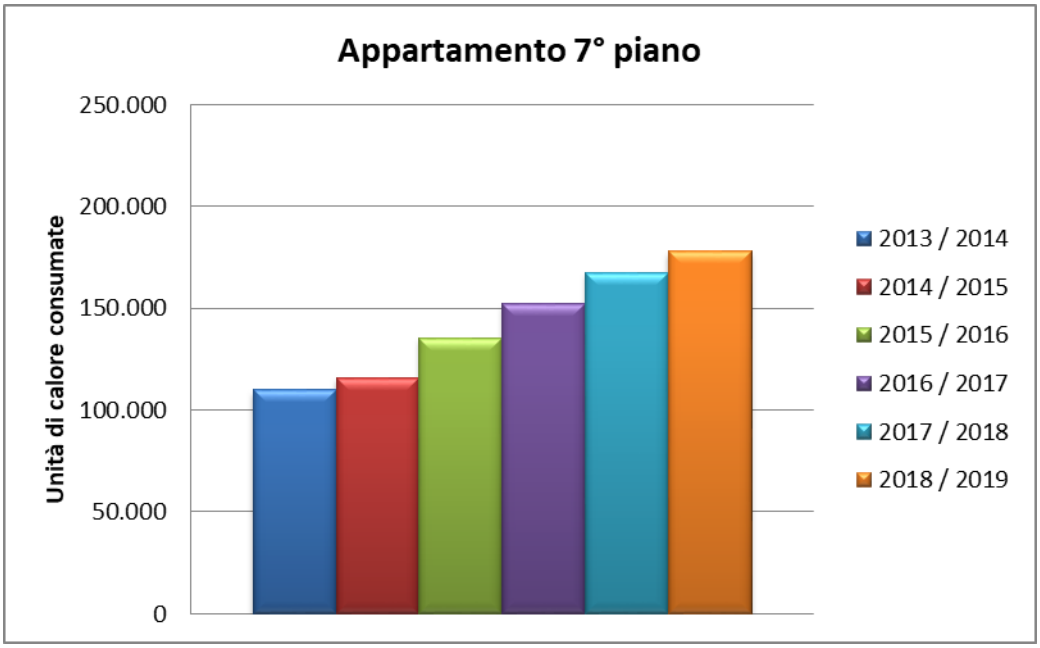


Figura 26-Storico Consumi Utente "Disattento"

3.2. Utenze 2 Torino

In collaborazione con una società di Torino, sono stati raccolti i dati di consumo per una serie di edifici adibiti ad uso residenziale situati nella medesima provincia. La società gestisce i servizi di riscaldamento e contabilizzazione per conto delle utenze analizzate.
Anche in questo caso l'analisi condotta ha previsto la valutazione del risparmio conseguito tramite l'introduzione di sistemi del tipo "valvola termostatica (testina manuale) + HCA".
I dati a disposizione sono:

- Tipologia di caldaia utilizzata (tradizionale o a condensazione) e relativo anno di installazione;
- Tipologia di sistema di termoregolazione (valvole termostatiche) e anno di installazione;

- Marca e modello del ripartitore accoppiato ai terminali di erogazione, con anno di installazione (corrispondente in tutti i casi considerati all'anno di introduzione delle valvole termostatiche);
- Consumi di combustibile, espressi in m3 o Sm3, a partire dalla stagione di riscaldamento 2007/2008 (solo per alcune utenze) fino al 2018/2019. Per ciascuna stagione vengono indicati anche i Gradi Giorno misurati.

La figura 27 riassume i risultati ottenuti confrontando, per ciascun condominio, i m3 di combustibile su grado giorno consumati nelle varie stagioni di riscaldamento (post-installazione delle termovalvole) con la media dei consumi del periodo precedente al retrofit. In particolare, a partire dall'anno di introduzione della termoregolazione (Colonna "Anno Termo" fig. 27), il risparmio stagionale viene valutato come esposto nella relazione seguente:

$$Risp.Anno_i\ \% = \frac{\frac{m_i^3}{GG_i} - \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{m_j^3}{GG_j}}{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{m_j^3}{GG_j}}\ \% \qquad (18)$$

Dove:

- $\frac{m_i^3}{GG_i}$: rapporto tra i m3 di combustibile consumati e i gradi giorno registrati nell'anno i-esimo di valutazione del risparmio (post-installazione delle termovalvole);
- $\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{m_j^3}{GG_j}$: media dei consumi del periodo precedente all'introduzione delle termovalvole;
- n: numero di stagioni antecedenti l'introduzione delle termovalvole.

Anche in questo caso, per alcuni edifici, l'anno di sostituzione della caldaia è lo stesso di quello di installazione dei sistemi di termoregolazione e contabilizzazione. Come per l'analisi del condominio "Utenza 1 Torino", si è scelto di indicare prima il risparmio medio complessivamente raggiunto (colonna "% Totale") e, in seguito, di separare il contributo di risparmio derivante dalla presenza di una caldaia ad alta efficienza ("% Caldaia") da quello relativo all'effetto della termoregolazione negli ambienti ("% Termoval").

			Risparmio Medio	Risparmio Separato	
EDIFICIO		ANNO Terr	%Totale	%Caldaia	%Termoval
Condominio	1	2018	-	-	-6,6
Condominio	2	2014	-32,7	-18,39	-14,36
Condominio	3	2018	-2,1	-	-2,1
Condominio	4	2010	-6,7	-15,1	-6,7
Condominio	5	2018	-19,4	-	-19,4
Condominio	6	2009	-31,0	-3,3	-27,7
Condominio	7	2018	-27,0	-	-27,0
Condominio	8	2018	-14,2	4,1	-18,3
Condominio	9	2016	-7,6	-	-7,6
Condominio	10	2015	0,0	-	0,03
Condominio	11	2014	-9,9	-	-9,9
Condominio	12	2011	-27,8	-22,69	-5,14
Condominio	13	2011	-43,0	-31,08	-11,90
Condominio	14	2011	-19,4	-34,15	14,75
Condominio	15	2019	-	-	-
Condominio	16	2017	-10,4	-	-10,4
Condominio	17	2018	-9,4	-	-9,4
Condominio	18	2018	-27,2	-	-27,2
Condominio	19	2012	-4,3	-	-4,3
Condominio	20	2012	-1,7	-	-1,7
Condominio	21	2019	-	-	-
Condominio	22	2011	-22,2	-26,20	4,01

Figura 27-Valutazione Risparmi condomini Utenze 2 Torino

Nella colonna "Risparmio Medio" si è indicata, per ciascun condominio, la media dei risparmi annuali conseguiti considerando tutte le stagioni post-intervento di retrofit dell'impianto[11]. In particolare:

- Nei condomini in cui la cella "% Totale" è contrassegnata in verde la caldaia è stata sostituita nello stesso anno di installazione delle termovalvole. In tutti questi casi, il risparmio è stato calcolato non separando il contributo derivante dalla nuova caldaia da quello ottenuto tramite termoregolazione. La procedura di separazione dei due contributi verrà descritta nel seguito;
- Nei condomini in cui la cella "% Totale" è contrassegnata in azzurro ("Condominio 6" e "Condominio 8") la caldaia è stata sostituita nell'estate del 2008 (alla fine della prima stagione di monitoraggio dei consumi). Di conseguenza, il risparmio attribuito alla nuova caldaia[12] è stato calcolato a partire da un confronto tra il consumo registrato nella stagione 2008/2009 e quello registrato nella stagione 2007/2008. Il risultato (riportato a fianco, nella colonna "% Caldaia") risulta inferiore rispetto al valore atteso (risparmi tipicamente compresi nel range 15÷35%). Inoltre, i due condomini presentano un contributo del risparmio dovuto alla sola termoregolazione (colonna "% Termoval") altrettanto anomalo (superiore al range tipico 0÷15%). Si ritiene che, nei casi citati, il consumo misurato per la stagione 2007/2008 sia poco rappresentativo del comportamento tipico del condominio e che la stagione suddetta non possa essere considerata un riferimento attendibile per la valutazione del risparmio;

[11] È stata calcolata la media dei "Risp. Anno$_i$ %" (equazione 18) riferiti a tutte le i-esime stagioni successive all'introduzione delle termovalvole

[12] Valutato utilizzando l'equazione 18, ponendo i=2008/2009.

- Nei condomini in cui la cella "% Totale" è contrassegnata in arancione l'introduzione delle termovalvole è avvenuta nell'estate del 2018. Per questi, il confronto tra la condizione di pre e post-intervento di retrofit può essere effettuato avendo a disposizione i consumi di una sola stagione successiva all'installazione delle termovalvole. Ne consegue che l'incertezza associata al valore del risparmio ottenuto[13] (colonna "% Termoval") è maggiore. Infatti, ancora una volta, il risultato ricade fuori dal range atteso (0÷15%) per il "Condominio 5", il "Condominio 7" e il "Condominio 18".

Nella colonna "Risparmio Separato" è possibile distinguere (ove presente) il contributo attribuito alla nuova caldaia ("% Caldaia") dal contributo attribuito al solo utilizzo della termoregolazione ("% Termoval"). Nei casi in cui il retrofit della caldaia è avvenuto nello stesso anno di installazione delle termovalvole (condomini con celle di colore verde) la separazione delle due voci è stata realizzata partendo dalla stessa ipotesi usata per il condominio "Utenza 1 Torino": si attribuisce il risparmio relativo al primo anno post-retrofit di impianto interamente alla caldaia, immaginando un'utenza non ancora in grado di gestire efficientemente la regolazione di temperatura negli ambienti riscaldati. Il risparmio dovuto alla termoregolazione si ottiene, di conseguenza, da un confronto tra la media dei m3/GG registrati a partire dalla seconda stagione post-retrofit e i m3/GG misurati nella prima stagione post-retrofit.
Si specifica che per il "Condominio 4" (caldaia sostituita nel 2008 e termovalvole installate nel 2010) il valore riportato nella colonna "% Termoval" è stato calcolato come:

$$"\%\ Termoval" = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{m_i^3}{GG_i} - \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\frac{m_j^3}{GG_j}}{\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\frac{m_j^3}{GG_j}}\ \% \qquad (19)$$

Dove:

- "n": Numero di stagioni successive all'installazione delle termovalvole;
- "i": i-esima stagione successiva all'installazione delle termovalvole;
- "j": j-esima stagione precedente all'installazione delle termovalvole (successiva al retrofit della caldaia);

Si osservi come i risultati ottenuti a valle dell'ipotesi di separazione dei due contributi di risparmio faccia rientrare le due voci all'interno dei range attesi.
Non è da escludere (es. "Condominio 22") la possibilità di riscontrare un risparmio positivo (un consumo maggiore rispetto allo scenario pre-valvole termostatiche), possibilmente causato da una gestione poco attenta del sistema di termo-regolazione.
Nonostante la forte variabilità dei risultati ottenuti, giustificata dalla molteplicità di aspetti da tenere in considerazione – incertezza dei dati misurati, aleatorietà delle condizioni esterne che influenza la gestione del sistema di riscaldamento, risposta dell'utenza all'introduzione del sistema di termoregolazione prettamente soggettiva – l'analisi sembra confermare i risultati attesi:

[13] Valutato utilizzando l'equazione 18, ponendo i=2018/2019.

Se si tiene conto del risparmio attribuito alla sola introduzione del sistema "termovalvola + ripartitore" si ottiene una riduzione di circa il 12% dei consumi complessivi di energia primaria[14]. Invece, il risparmio ottenuto con sostituzione della sola caldaia si attesta a circa il 26%[15].

3.3. Condominio Milano

In questa fase dello studio, è stata selezionata un'utenza residenziale nel comune di Milano dotata, a partire dall'estate del 2017, del sistema di termoregolazione "Termo-Autonomo" (cfr. par. 2.1.4.). La figura 28 seguente espone i risultati ottenuti dall'analisi dei consumi del condominio, costituito da tre piani – per un volume totale riscaldato pari a circa 1100 m3 tramite caldaia a condensazione di 67 kW – ed utilizzato dalle rispettive unità familiari come "prima casa":

MILANO (MI)									
Periodo Risc		gg	Tmedia giornaliera	GG	metano (letture)	fattore di conversione	Smc	Smc/GG	Risparmio %
2015	ottobre	15	13,6	96					
	novembre	30	8,9	333					
	dicembre	31	5,1	462					
2016	gennaio	31	3,9	499					
	febbraio	29	6,9	380					
	marzo	31	9,9	313					
	aprile	14	15,4	64					
	novembre	30	8,5	345					
	dicembre	31	3,8	502					
2017	gennaio	31	1,7	567					
	febbraio	28	6,5	378					
	marzo	31	12,4	236					
	aprile	14	15	70					
2016-17		180		**2197**	6737	1,005358	6.773	3,08	100%
15/10/17	14/04/18	181	7,9	**2190**	5275	1,005358	5.303	2,42	-21%
15/10/18	14/04/19	181	9,3	**1937**	4583	1,005358	4.608	2,38	-23%

Figura 28-Analisi Consumi Condominio Milano

Le stagioni di cui si dispongono i dati di consumo sono quella immediatamente precedente l'installazione del TAW (2016/17) e le due successive (fino al 2018/19), quest'ultime evidenziate in giallo nella figura 28. Per ciascuna di esse è necessario determinare la durata del periodo di riscaldamento (colonna "gg") e la corrispondente indicazione sui gradi giorno. Poiché è necessario che i gradi giorno siano riferiti al solo periodo di utilizzo del sistema di riscaldamento e non alle intere annualità considerate, è necessario effettuare il calcolo a partire dalle temperature medie mensili registrate per la città di Milano.
Dalla definizione di grado giorno, supponendo una temperatura interna di progetto pari a 20°C, si ottiene che:

$$GG = \sum_{i=1}^{n} gg_i * (20 - T_{ave,month})_i \qquad (20)$$

Dove:

- GG [°C]: gradi giorno stagionali;

[14] Valore ottenuto mediando il rispamio delle voci "% Termoval" per i condomini in cui non è stata effettuata sostituzione contemporanea della caldaia
[15] Valore ottenuto mediando il rispamio delle voci "% Caldaia" per i condomini in cui è stata effettuata sostituzione contemporanea della caldaia

- gg_i: giorni di riscaldamento riferiti all'i-esimo mese della stagione;
- $T_{ave,month}$ [°C]: Temperatura media mensile riferita all'i-esimo mese della stagione;
- n: numero dei mesi che compongono la stagione di riscaldamento;

Le letture dei m3 utilizzati in caldaia vengono convertiti in Sm3 tramite l'utilizzo di un coefficiente di conversione C, indicato in bolletta dal fornitore del servizio. A questo punto, analogamente a quanto svolto per i casi precedenti, vengono destagionalizzati i consumi e scelto come riferimento per la valutazione del risparmio l'anno precedente l'installazione del TAW.
Il risparmio percentuale viene calcolato come:

$$Risp.Anno_i\ \% = \frac{\frac{Sm_i^3}{GG_i} - \frac{Sm_{rif}^3}{GG_{rif}}}{\frac{Sm_{rif}^3}{GG_{rif}}}\ \% \qquad (21)$$

Dove il pedice "rif" è relativo alla stagione utilizzata come riferimento, ovvero quella 2016/17.
La natura del risparmio conseguito, 21% per la prima stagione di utilizzo del TAW e 23% per la seconda, da attribuire alla sola introduzione di questo sistema, merita una riflessione aggiuntiva, essendo sensibilmente maggiore rispetto a quella tipicamente associata all'utilizzo di sistemi tradizionali con ripartitore e termovalvola a regolazione manuale.
Come spiegato in precedenza, il TAW rappresenta un sistema tramite il quale è possibile effettuare una regolazione a comando elettronico. Questo aspetto apre la strada ad un tipo di programmazione del sistema non più completamente affidata all'azione meccanica dell'utente, spesso indotto ad errori di distrazione o cattiva gestione delle termovalvole manuali, ma più automatizzata e regolabile con schedules giornaliere, mensili o stagionali. Unito alla possibilità di essere gestito da remoto, il sistema sposa la moderna filosofia di "smart building" ma, proprio per tale ragione, è fondamentale che l'utenza venga ben informata sulle sue complete funzionalità.
In questo caso, così come in quelli presentati nel seguito, la competenza di chi gestisce il sistema risulta uno degli elementi chiave per il conseguimento del risparmio.
Trattandosi di un sistema con regolazione delle zone di tipo ON/OFF, sulla base dell'indicazione letta dal sensore di temperatura ambiente, è stato operato un controllo finalizzato a limitare il più possibile i cicli di accensione e spegnimento del sistema nell'arco della giornata. Si è lavorato nel gestire la curva climatica (T di mandata dalla caldaia) e la portata trattata dalla pompa di circolazione in modo che il numero di radiatori attivi nella fase di riscaldamento fosse il maggiore possibile.
In particolare, se la temperatura di mandata del fluido scaldante, funzione di quella esterna, è mantenuta relativamente bassa – comunque sufficiente ad assicurare il raggiungimento della condizione di comfort negli ambienti in base alle esigenze di occupazione – il transitorio di riscaldamento dei locali sarà più graduale. In questo modo, nel momento in cui l'unità centrale del sistema "interroga" i sensori di temperatura interna, è meno probabile che rilevi un ambiente già "in temperatura" e che comandi uno spegnimento troppo ravvicinato alla precedente accensione. Un funzionamento più regolare dell'impianto evita i "picchi" di salto termico, favorendo il comfort nei locali e il risparmio di combustibile, consentendo alla caldaia di lavorare più frequentemente a potenza ridotta rispetto al suo valore nominale.
L'accensione di un numero maggiore di radiatori che funzionano con portata ridotta (tramite pompa modulabile ad inverter) comporta dei benefici anche al sistema di distribuzione; infatti, se la portata è più bassa, a parità di potenza trasmessa dai corpi scaldanti, aumenta il salto termico registrato tra mandata e ritorno del radiatore. La presenza di un ramo di ritorno più freddo limita le dispersioni di calore involontarie nei tubi di distribuzione e favorisce la condensazione in caldaia, aumentando il rendimento di generazione.

L'attuazione di questi accorgimenti, caratteristici di un condominio gestito da un'utenza "esperta", e il graduale apprendimento delle funzionalità del sistema di regolazione giustificano il surplus di risparmio registrato rispetto alle utenze di Torino ed il suo progressivo aumento nell'arco delle stagionalità successive.

3.4. Condominio ad Occupazione Saltuaria Brusson (AO)

L'analisi di un condominio ad occupazione saltuaria comporta alcune considerazioni differenti rispetto a quelle esposte per edifici "normalmente utilizzati".
L'utenza considerata in questo paragrafo, così come quella presentata nel successivo, è rappresentativa di un edificio utilizzato come "casa vacanza" in una località di montagna. Per il comune di riferimento (Brusson), non è stato possibile reperire delle informazioni metereologiche affidabili per tutte le stagionalità prese in esame nella valutazione dei consumi. Tuttavia, a partire dalla prima stagione di utilizzo del TAW (2014/15), è possibile sfruttare il dato registrato dalla sonda di temperatura esterna del sistema per il calcolo dei Gradi Giorno stagionali. Per quanto concerne le stagioni antecedenti l'installazione del TAW, 2012/13 e 2013/14, si è ricorso alla seguente procedura semplificata:

- Confronto dei gradi giorno registrati da Arpa Valle d'Aosta [44], per le stagioni a partire dalla 2014/15, con i gradi giorno calcolati per le stesse stagioni tramite il sistema TAW (il quale mette a disposizione il valore di temperatura esterna medio giornaliero);
- Valutazione dello scostamento medio tra i gradi giorno Arpa e i gradi giorno effettivi misurati con TAW;
- Applicazione dello scostamento medio ai dati di Arpa Valle D'Aosta riferiti alle stagioni 2012/13 e 2013/14.

L'ipotesi può essere ritenuta accettabile, constatando che la variabilità dei Gradi Giorno per il sito in esame è piuttosto bassa, con valori compresi nel range 3500÷4000 °C (zona climatica F).
I dati messi a disposizione dall'utenza sono le letture dei litri di gasolio utilizzati per il servizio di riscaldamento e, trattandosi di abitazioni spesso non occupate, del CUC[16] indicativo del grado di utilizzo dell'edificio.
Ancora una volta, per le stagioni antecedenti l'installazione del TAW, non è possibile sfruttare l'informazione sul CUC reperibile tramite le letture del sistema. Tuttavia, supponendo un fattore di utilizzo dei locali piuttosto stabile negli anni, si è scelto di applicare alle due stagioni citate la media dei CUC relativi a quelle successive (valori contrassegnati in giallo nella figura 29 seguente):

VOLLON (AO) - Hslm 1400m - casa di vacanza ad occupazione saltuaria											
Stagione	gg	Tmedia	GG	gasolio	CUC	litri/GG	Media 1	Risparmio 1 %	Indice	Media 2	Risparmio 2 %
		[°C]	[°C]	(litri)			[litri/GG]		[litri/GG/CUC]	[litri/GG/CUC]	
2012/13	265	-	3850	5000	0,174	1,30	-	-	7,46	-	-
2013/14	265	-	3566	5200	0,174	1,46	1,38	-	8,38	7,92	-
2014/15	265	6,5	3578	4030	0,18	1,13	-	-18,28	6,26	-	-21,01
2015/16	266	5,9	3751	4076	0,13	1,09	-	-21,17	8,36	-	5,52
2016/17	265	6,0	3710	3775	0,11	1,02	-	-26,19	9,25	-	16,76
2017/18	265	5,2	3922	4695	0,24	1,20	-	-13,16	4,99	-	-37,04
2018/19	265	5,8	3763	3399	0,21	0,90	-	-34,48	4,30	-	-45,71

Figura 29-Analisi Consumi Condominio Brusson

[16] Coefficiente di Utilizzazione Condominiale (cfr. par. 2.1.4)

Come visto in figura, la valutazione del risparmio indotto dall'utilizzo della termoregolazione segue due strade differenti. La prima non tiene in considerazione il grado di occupazione del condominio, effettuando un calcolo del risparmio stagionale indicato come:

$$Risparmio\ 1\ \%_i = \frac{\left(\frac{litri}{GG}\right)_i - \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\left(\frac{litri}{GG}\right)_j}{\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\left(\frac{litri}{GG}\right)_j} \qquad (22)$$

Dove:

- $\left(\frac{litri}{GG}\right)_i$: consumo destagionalizzato nella i-esima annualità;
- $\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2}\left(\frac{litri}{GG}\right)_j$: media dei consumi destagionalizzati delle due stagioni antecedenti l'introduzione del TAW;

Sulla base di queste considerazioni si attesta un risparmio sempre negativo, in media pari al 23% (colonna "Risparmio 1" in figura 29).
Passando alla valutazione di un risparmio che tenga in conto del fattore di utilizzo dell'edificio, si definisce l'indice utilizzato per il confronto (colonna "Indice") come:

$$Indice_i = \left(\frac{litri}{GG * CUC}\right)_i \qquad (23)$$

La scelta di porre a denominatore il CUC è finalizzata ad aumentare l'indice di consumo nei casi in cui il grado di occupazione risulta più basso. In questo modo, a parità di litri/GG registrati, viene valorizzata la stagione con più alto utilizzo dell'edificio, poiché caratterizzata da un consumo più attento e razionale della fonte.
A questo punto, le voci della colonna "Risparmio 2 %" vengono calcolate come:

$$Risparmio\ 2\ \%_i = \frac{Indice_i - \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2} Indice_j}{\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{2} Indice_j} \qquad (24)$$

Da queste nuove considerazioni scaturiscono risultati sensibilmente differenti; nonostante un risparmio medio comunque negativo e pari a circa il 16%, si osservi come l'introduzione del CUC nell'indice di consumo porti anche a contributi di risparmio positivi (indice di un sovra-consumo) nelle stagioni in cui il grado di utilizzo dell'edificio è più basso.
Al netto delle valutazioni di carattere quantitativo, che certificano un consumo ridotto di gasolio a partire dall'introduzione del termoautonomo, si ritiene che quest'ultimo indice consenta di evidenziare da un punto di vista "più qualitativo" la gestione del sistema.

3.5. Condominio ad Occupazione Saltuaria Pila (AO)

Le considerazioni fatte nel paragrafo precedente sono valide anche per l'utenza di Pila, località sciistica del comune di Gressan (AO) situata a 1850m s.l.m.

Figura 30-Condominio Pila [45]

Si tratta di un "super-condominio" che può essere suddiviso in due edifici distinti. Il fabbricato indicato con la sigla "G1" viene servito da una sotto-centrale termica alimentata da teleriscaldamento, così come gli edifici "G2-G3", che fanno capo ad una differente sotto-centrale termica. La rete di teleriscaldamento invia ai due scambiatori acqua a circa 90°C. Questa viene successivamente smistata su due reti separate per soddisfare la richiesta di riscaldamento e acqua calda sanitaria. Il tipo di distribuzione a colonne montanti ha richiesto l'utilizzo di un sistema di contabilizzazione di tipo indiretto (TAW-Totalizzatore dei tempi di inserzione compensato in temperatura).
La temperatura di mandata dell'acqua alla sotto-centrale termica è regolata con una sonda esterna che effettua la modulazione di una valvola a tre vie. Questa, in base ad una curva di regolazione programmata, si occupa della miscelazione del fluido direttamente sul circuito primario. Inoltre, mediante sensori di pressione, si regola la portata trattata dalle pompe di circolazione in funzione del numero di radiatori con valvola termostatica aperta.
In fase di determinazione dei gradi giorno stagionali, vista l'assenza di stazioni metereologiche accessibili nelle vicinanze del sito e la mancata affidabilità dei valori forniti per il comune di Gressan (altitudine 626m), si è seguito il ragionamento seguente:

- Per le stagioni caratterizzate dall'utilizzo del TAW (2016/17 a seguire) è stato fatto un calcolo manuale partendo dalla lettura delle temperatura media esterna giornaliera, registrata con il sensore di temperatura esterna del sistema;
- Per l'ultima stagione sprovvista di sistema di termo-regolazione (2015/16) sono state confrontate le rilevazioni ottenute per il condominio di Brusson, trattandosi di due località prossime, simili sia per altitudine sia per caratteristiche climatiche. Il calcolo dei gradi giorno è stato condotto in questo modo:
    - Individuazione dello scostamento medio tra i gradi giorno rilevati per Pila e Brusson dal TAW nelle stagioni dal 2016/17 in poi;
    - Applicazione dello scostamento al valore dei gradi giorno calcolati per Brusson nella stagione 2015/16.

Analisi Consumi G1						
Stagione	**MWh riscaldamento**	**GG (ricavati con termo)**	**Indice MWh/GG**	**Risparmio 1 %**	**CUC**	**Risparmio 2 %**
2015/2016	988	3932	0,25	0	0,22	0
2016/2017	748	3841	0,19	-22,5	0,19	-11,44
2017/2018	795	4077	0,19	-22,4	0,25	-30,90
2018/2019	725	4021	0,18	-28,2	0,22	-28,37
Analisi Consumi G2-G3						
Stagione	**MWh fornitore**	**GG (ricavati con termo)**	**Indice MWh/GG**	**Risparmio 1 %**	**CUC**	**Risparmio 2 %**
2015/2016	967	3932	0,25	0	0,22	0
2016/2017	691	3841	0,18	-26,8	0,21	-23,15
2017/2018	704	4077	0,17	-29,8	0,27	-42,93
2018/2019	653	4021	0,16	-34,0	0,18	-19,26

Figura 31-Analisi Condominio Pila

Come osservato in Figura 31, i consumi per l'edificio "G1" sono relativi al solo servizio di riscaldamento. Per gli edifici G2-G3, non essendo disponibile il consumo differenziato per i due servizi (riscaldamento e acqua calda sanitaria), si è scelto di riportare direttamente il valore di energia totale contabilizzato dal fornitore. Questa scelta resta comunque valida, poiché il consumo di acqua calda sanitaria nei condomini considerati è rimasto praticamente costante per le varie annualità; dunque, la riduzione dei MWh contabilizzati è da attribuirsi unicamente al sistema di termoregolazione.

Il caso in esame ci consente di enfatizzare l'importanza dell'utilizzo attento e consapevole del TAW. All'inizio della stagione 2016/17 (la prima con termoregolazione), il sistema è stato avviato partendo dalle condizioni imposte dal programma "antigelo" (temperatura di set-point fissata a 14°C). Si noti infatti la sensibile riduzione dei MWh consumati tra la prima stagione con TAW e l'ultima senza TAW. Tuttavia, al termine della stagione invernale 2016/17 gli utenti hanno lasciato i locali mantenendo ("distrattamente") una regolazione impostata per assicurare il comfort (20°C interni). Il riscaldamento di locali sostanzialmente vuoti per un certo intervallo di tempo ha provocato un aumento dei MWh consumati nella stagione successiva (2017/18), con una diminuzione, seppur minima, del risparmio conseguito (condominio G1, colonna "Risparmio 1 %"). Il dato di aumento dei consumi è "mascherato" da una gestione più attenta a partire dalla stagione 2017/18 stessa, favorito da una maggiore confidenza con l'utilizzo del sistema. Resta comunque valido il principio che, pur avendo a disposizione un sistema sofisticato di termoregolazione, dei risultati significativi in termini di risparmio possono essere raggiunti solo in presenza di un'utenza "responsabile".

Come nel caso precedente, il risparmio è stato valutato dapprima non considerando la differente occupazione media degli edifici ("Risparmio 1 %") e successivamente definendo un indice che includesse il CUC, come definito nell'equazione (23).

I risparmi medi si attestano a valori pari al 27% (media dei valori "Risparmio 1", includendo entrambi i condomini nel calcolo), e al 26%, considerando il CUC.

3.6. Scuola Milano

La ricerca condotta sui risparmi derivanti dall'utilizzo di sistemi di termo-regolazione ha incluso anche un edificio del settore terziario, ovvero una scuola primaria situata a Milano.

Figura 32-Scuola Milano [46]

L'unico servizio richiesto al sistema TAW è quello di termoregolazione. La contabilizzazione non è finalizzata alla ripartizione delle spese tra i vari inquilini, visto che l'utenza considerata non è di tipo residenziale.
Il retrofit dell'impianto di generazione termica (caldaia a condensazione) è stato effettuato nell'estate del 2015, mentre l'introduzione del sistema di regolazione della temperatura è avvenuta nel 2016, alla fine della prima stagione di utilizzo della nuova caldaia. Ciò consente di attribuire i risparmi conseguiti unicamente al termoautomo e ad una sua gestione sempre più oculata.
In figura 33 è riportato l'andamento progressivo e mensile registrato dal contatore di gas, posto all'ingresso della centrale termica:

	2015 / 16		2016 / 17			2017 / 18			2018 / 19		
	Prog	mensile	Prog	mensile	diff 16/17	Prog	mensile	diff 16/18	Prog	mensile	diff 16/19
Ottobre 15	7.081	7.081	6.298	6.298	-783	5.073	5.073	-2.008	1.712	1.712	-5.369
Novembre	24.501	17.420	21.706	15.408	-2.012	15.875	10.802	-6.618	12.057	10.345	-7.075
Dicembre	45.384	20.883	37.909	16.203	-4.680	31.915	16.040	-4.843	32.256	20.199	-684
Gennaio	69.873	24.489	63.886	25.977	1.488	51.040	19.125	-5.364	51.575	19.319	-5.170
Febbraio	92.526	22.653	76.793	12.907	-9.746	68.144	17.104	-5.549	64.039	12.464	-10.189
Marzo	110.190	17.664	84.473	7.680	-9.984	84.399	16.255	-1.409	74.739	10.700	-6.964
Aprile 15	114.862	4.672	87.880	3.407	-1.265	86.905	2.506	-2.166	78.664	3.925	-747
Totale mt3		114.862		87.880			86.905			78.664	
				m3	-26.982		m3	-27.957		m3	-36.198
DIFFERENZA CONSUMI ANNUI SU 2015/2016					-23,49%			-24,34%			-31,51%
					diff 15/17			diff 15/18			diff 15/19

Figura 33-Analisi Consumi Scuola Milano

Come si osserva, il confronto non prende in esame l'indicazione dei Gradi Giorno stagionali. Includendo questo elemento nell'analisi si ottiene:

Stagione	GG	Consumo	Indice	Risparmio
	[°C]	[m3]	[m3/GG]	%
2015/2016	2147	114862	53,50	0
2016/2017	2197	87880	40	25,23
2017/2018	2190	86905	39,68	25,83
2018/2019	1937	78664	40,61125	24,09

Figura 34-Analisi Consumi Scuola Milano 2

Va sottolineato come nell'arco degli anni siano state messe in pratica azioni sia di natura educativa sull'utilizzo corretto dell'impianto (con controlli periodici sull'eventuale manomissione del regolatore, trattandosi di un edificio con alto numero di bambini e ragazzi), sia di adattamento del servizio di riscaldamento agli effettivi orari scolastici (ad es. durante la seconda annualità dall'introduzione del TAW i radiatori sono stati programmati per uno spegnimento mattutino alle 12:30 e non più alle 14:00). Ciò, unito ad una sensibilizzazione del personale scolastico finalizzata a limitare il più possibile le perdite per ventilazione "ingiustificate", ha portato al raggiungimento di risparmi medi intorno al 25%.

3.7. Considerazioni Riassuntive

Al fine di sintetizzare i risultati raggiunti in questa prima fase dello studio, le seguenti tabelle riportano il risparmio medio per le varie utenze esaminate, evidenziando la categoria di edificio ("prima casa", "seconda casa" o "terziario") e la tipologia di sistema di termoregolazione e contabilizzazione installato:

Risparmi edifici con termoregolazione - No sostituzione Contemporanea Caldaia			
Nome	**Tipologia Utenza**	**Tipologia Sistema**	**Risparmio Medio %**
Utenze 2 Torno	Prime Case	R + VT m	12,30
Condominio Milano	Prima casa	TAW	22,00
Condominio Brusson	Seconda Casa	TAW	22,6
Condominio Pila	Seconda Casa	TAW	27,3
Scuola Milano	Settore Terziario	TAW	25

Tabella 2

La Tabella 2 include tutte le utenze in cui l'introduzione dei sistemi di termoregolazione non è avvenuta in contemporanea con la sostituzione della caldaia. Il risparmio indicato nella colonna "Risparmio Medio %" rappresenta la media dei risparmi conseguiti considerando tutte le stagioni post-retrofit del sistema.
Le voci "R + VT m" e "TAW" nella colonna "Tipologia Sistema" rappresentano rispettivamente il sistema con ripartitore e valvola termostatica a regolazione manuale e il sistema "Termo-Autonomo Wireless". Si noti come gli edifici dotati di quest'ultima tecnologia presentino un risparmio complessivamente maggiore (il doppio) rispetto a quelli provvisti di valvola con testina manuale.
La tabella seguente raccoglie invece tutte le utenze in cui la sostituzione della caldaia è avvenuta contemporaneamente all'installazione dei sistemi di termoregolazione e contabilizzazione:

Risparmi edifici con termoregolazione e sostituzione contemporanea caldaia					
Nome	**Tipologia Utenza**	**Tipologia Sistema**	**Risparmio Complessivo %**	**Risparmio Caldaia %**	**Risparmio Termoregolazione %**
Utenze 2 Torino	Prima Casa	R + VT m	29	26,5	3
Utenze 1 Torino	Prima Casa	R + VT m	27,20	21,76	5,44

Tabella 3

In questi casi viene distinto il contributo sul risparmio complessivo derivante dal passaggio ad una generazione più efficiente (con caldaia a condensazione) da quello ottenuto tramite termoregolazione.

4. TERMOREGOLAZIONE E CONTABILIZZAZIONE “SMART”

In questa seconda fase dell’elaborato ci si propone di esplorare gli aspetti salienti del tema “contabilizzazione del calore intelligente”.
Associare l’aggettivo “intelligente”, o “smart”, a un dispositivo preposto alla realizzazione di un servizio specifico discende dal moderno concetto di “Internet of Things”. Il termine trae origine nei primi anni 2000 dal tentativo di categorizzare l’insieme di componenti – hardware e software – in grado di:

- Raccogliere informazioni (differenti in base allo specifico campo di applicazione);
- Effettuare una prima fase di elaborazione dati;
- Trasferire i dati raccolti a sistemi di acquisizione, preferibilmente tramite collegamento “wireless”. Viene sfruttata tipicamente la tecnologia radio o la connessione alla rete Internet.

Un dispositivo intelligente può “riconoscersi” ed essere identificato univocamente tramite indirizzo IP. È caratterizzato, inoltre, da un certo grado di autonomia, che lo abilita a compiere azioni in funzione dei dati raccolti e delle interazioni con altri dispositivi intelligenti.
L’ “Internet of Things”, servendosi di sistemi che basano il loro funzionamento sulla possibilità connettersi ad Internet e tra loro – aspetto ormai di primaria importanza per la loro diffusione nel mercato contemporaneo – trova ampia applicazione in quasi tutti i settori di produzione industriale e della vita quotidiana. Si pensi ad esempio alla moderna industria di produzione automobilistica in cui gran parte della filiera è caratterizzata dall’utilizzo di componenti robotici; la possibilità di monitorare da remoto gli stessi tramite appositi sensori, che informano sullo stato di qualità del componente, consente sia una gestione più efficiente dell’intero processo, sia una maggiore sicurezza durante le attività di manutenzione.
Ancora, si citano settori quali quello automotive, sanitario, agricolo e della sicurezza (sorveglianza), che hanno ampiamente sfruttato le funzionalità aggiuntive offerte da un sistema di tipo IoT.
Infine, trattandosi di uno dei campi più energivori, il settore residenziale può beneficiare in modo sostanziale di questa “filosofia” di gestione basata sull’utilizzo di apparecchi smart.
La figura seguente schematizza tutte le possibili applicazioni in ambito residenziale dell’IoT:

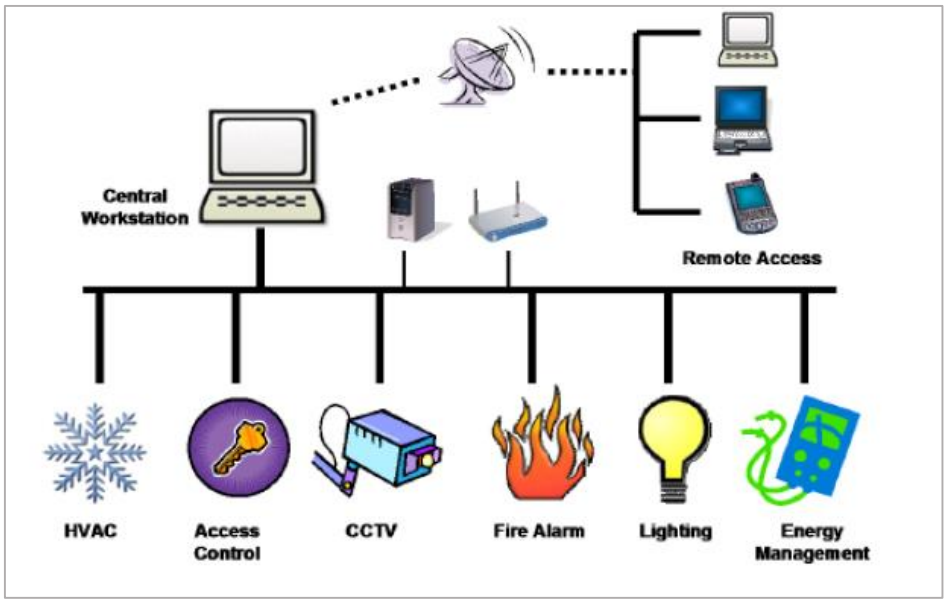


Figura 35-Applicazioni IoT per appartamento [47]

Come visto, gli impieghi possibili sono sia connessi al tema del risparmio energetico – climatizzazione, controllo del comfort ambientale e illuminazione (sfruttando sensori di presenza per

un utilizzo della fonte elettrica limitato alle ore di effettiva occupazione dei locali) – sia legati al tema della sicurezza negli appartamenti (prevenzione da possibili furti o incendi).
La figura sovrastante, inoltre, evidenzia l'importanza di poter intervenire da remoto (PC, smartphone o Tablet) per far fronte alle eventuali anomalie o segnalazioni registrate. L'obiettivo è di migliorare il ruolo dell'utenza, potenzialmente "passiva" di fronte ad un sistema sofisticato quanto inaccessibile, rendendola "attiva" e in grado di adattare l'ambiente alle proprie esigenze.
L'applicazione dell' "Internet of Things" al settore residenziale prende spesso il nome di "Domotica" o "Smart Home". Solitamente i due termini vengono utilizzati come sinonimi; tuttavia, va specificato che il concetto di "Domotica" ha origini più antiche rispetto a quello di "Smart Home" e si basa su presupposti differenti [48]. Gli strumenti di cui la "Domotica" si avvale (es. luci, sistema di sicurezza, elettrodomestici a comando vocale) vengono inseriti in una fase contemporanea a quella di progetto dell'appartamento, risultando indissolubilmente legati alla "struttura portante" della casa. La "Smart Home", invece, contempla l'inserimento delle unità intelligenti (es. sensori di temperatura, umidità, presenza) anche in una fase successiva rispetto a quella di progettazione dell'appartamento. Semplificando, si può dire che una casa può diventare "Smart" anche "in corso d'opera". Quest'ultimo punto evidenzia proprio come l'IoT sia estremamente versatile, adattando la tecnologia su cui si basa ai componenti già installati nell'edificio. Per le ragioni esposte, la seconda soluzione si ritiene quella più vantaggiosa sia da un punto di vista economico, sia perché di più facile applicazione al parco edilizio esistente.
Nel prosieguo della trattazione ci si concentrerà sulle applicazioni di sistemi "smart" finalizzati al risparmio di energia termica per riscaldamento.
Si metterà in risalto come, nonostante si tratti di un tema relativamente nuovo, la normativa in materia di risparmio energetico si sia espressa a favore dell'introduzione di sistemi di misura e regolazione intelligenti, imponendone l'obbligo, per alcune tipologie, entro il 2027.
Inoltre, ci si propone di individuare gli strumenti necessari a definire un sistema di regolazione della temperatura interna e contabilizzazione del calore che rispetti le caratteristiche di impianto "smart". La base di partenza è rappresentata dai corrispondenti sistemi tradizionali, attualmente più diffusi e analizzati nella prima parte dello studio ("valvola termostatica a comando manuale/elettronico + ripartitore di calore" e "totalizzatori dei tempi di inserzione ITC-TC"). L'obiettivo è di integrare i sistemi attualmente installati alla tecnologia IoT, analizzandone i benefici da un punto di vista tecnico ed economico. Con il supporto di una "software house", specializzata nella raccolta e gestione tramite portale Web dei dati di consumo condominiale, vengono analizzati i costi di investimento connessi al retrofit di sistemi di regolazione già presenti in campo. La valutazione del tempo di ritorno dall'investimento iniziale considera i risparmi indotti dall'utilizzo di un sistema intelligente.
Sono state analizzate tre utenze in provincia di Frosinone, già oggetto di sperimentazione metrologica da parte di ENEA e dell'Università di Cassino [49], e il condominio di Milano (cfr. paragrafo 3.3).
In definitiva, la ricerca vuole stabilire delle linee guida che identifichino i passaggi necessari a rendere "intelligenti" gli attuali sistemi di termoregolazione e contabilizzazione.
L'aspetto fondamentale che è stato considerato durante tutto lo sviluppo dello studio è quello di riuscire a coinvolgere attivamente l'utenza all'interno della gestione del sistema.
Attraverso un'informazione più frequente (oraria, giornaliera, mensile), che dia ai singoli condòmini delle indicazioni sul proprio profilo di consumo di carattere quantitativo e, soprattutto, qualitativo, si vuole abilitare l'utente medio a intraprendere azioni di risparmio energetico e ad un uso più razionale del calore prodotto. Ciò stabilisce un netto cambio di paradigma rispetto all'attuale metodo di informazione degli utenti, i quali sono tipicamente informati sui loro consumi complessivi soltanto al termine della stagione di riscaldamento.

4.1. Transizione Normativa – Verso la Contabilizzazione "Intelligente"

4.1.1. Direttiva Europea 2018/2002

Nel Capitolo 1 si è fatto riferimento ai contenuti principali della direttiva europea 2012/27/UE, che sancisce l'obbligo, per il settore residenziale caratterizzato da generazione centralizzata, di adottare sistemi di contabilizzazione entro la fine del 2016. Come detto, nella norma viene evidenziata l'importanza di adottare sistemi di misura intelligenti per favorire l'accesso dei consumatori ai rispettivi dati di consumo ed effettuare una ripartizione basata sull'energia effettivamente prelevata. Tuttavia, la norma non stabilisce l'obbligatorietà di utilizzare questo tipo di tecnologia. A tale scopo la direttiva 2018/2002 UE interviene proprio su questo fronte [50]. Questa, modificando e ampliando alcuni punti della 2012/27/UE, stabilisce che:

- I contatori installati dopo il 25 Ottobre 2020 devono consentire la lettura da remoto. La loro installazione continua ad essere subordinata al vincolo di fattibilità tecnico-economica, già esistente per i contabilizzatori tradizionali. Chiaramente, l'utilizzo di un sistema che consente lettura da remoto e che fornisce indicazioni più frequenti sui consumi aumenta il contributo del termine di risparmio di energia primaria, calcolato in sede di valutazione economica dell'investimento. La disposizione può risultare di difficile applicazione in tutti i casi in cui, all'interno di un edificio dotato di sistema di contabilizzazione divisionale non leggibile da remoto, si presenti la necessità di sostituire un contatore indiretto prematuramente (ad es. per via di un malfunzionamento isolato). In tali casi, ci si scontra con l'esigenza di dover utilizzare in tutti gli appartamenti dell'edificio un sistema con componenti della stessa marca e modello. Qualora nella sostituzione si decida di non adottare un contatore leggibile da remoto, è più probabile che l'investimento non venga recuperato entro il 2027, data in cui tutti i sistemi di contabilizzazione devono dotarsi della possibilità di essere letti da remoto (si veda il punto seguente) [51];
- Entro il 1° Gennaio 2027 tutti i sistemi di contabilizzazione devono essere leggibili da remoto. La scelta di tale data permette a tutti gli utenti già provvisti di sistema di contabilizzazione (che hanno rispettato la scadenza fissata dal d.lgs 102/2014) di rientrare dall'investimento effettuato. Viene quindi stimata pari a 10 anni la vita degli attuali contabilizzatori. L'attuazione del provvedimento prevede comunque la valutazione dell'effettiva convenienza economica dell'investimento.

Inoltre, vengono trattate due tematiche particolarmente affini alla natura del presente studio. La prima riguarda la regolamentazione di una frequenza minima obbligatoria di fatturazione dei consumi, o di un'informazione che attesti l'andamento parziale degli stessi. Sfruttando le funzionalità aggiuntive di un sistema a lettura remota si stabilisce che, a partire dal 25 Ottobre 2020, l'utenza debba ricevere una fatturazione almeno ogni trimestre, se elettronica, altrimenti almeno due volte l'anno. La frequenza minima verrà fissata ad almeno una volta al mese a partire dal 1° Gennaio 2022.
Il secondo aspetto è legato al contenuto dell'informazione sub-annale; quest'ultimo deve quantomeno riportare un profilo temporale dei consumi effettivi, accompagnato da indicazioni quali, ad esempio, la previsione della spesa stagionale qualora l'andamento si mantenga mediamente simile a quello registrato fino al quel momento. Le indicazioni di carattere qualitativo non sono però soggette ad obblighi specifici e possono essere scelte liberamente dal gestore del servizio di lettura, purché esprimano in modo chiaro l'informazione sul consumo effettivo.
La direttiva non descrive in modo tecnico cosa intende per "lettura da remoto", anche se il requisito minimo per individuare un sistema di questo tipo è senz'altro quello di consentire una rilevazione che non obblighi l'operatore ad accedere all'interno dei singoli appartamenti.

A ciascuno stato membro è affidata la possibilità di includere tra i dispositivi "leggibili da remoto" anche quelli a lettura "walk-by" o "drive-by". Per queste due tipologie è però richiesto il passaggio dell'operatore nei pressi dell'edificio, con un'acquisizione del dato che avviene ad una distanza tipica di 200 m, funzione anche della presenza di ostacoli e dell'ubicazione dei contatori in edificio. Va evidenziato che considerare questi sistemi leggibili da remoto rende più difficile rispettare l'obbligo di informare l'utenza con frequenza sub-annale. Per questa ragione è preferibile ricorrere a sistemi che, sfruttando dispositivi di concentrazione e trasmissione dati via internet (ad es. Gateway GSM), consentono un monitoraggio anche a distanza.
La figura seguente mostra le principali modalità di lettura finora utilizzate:

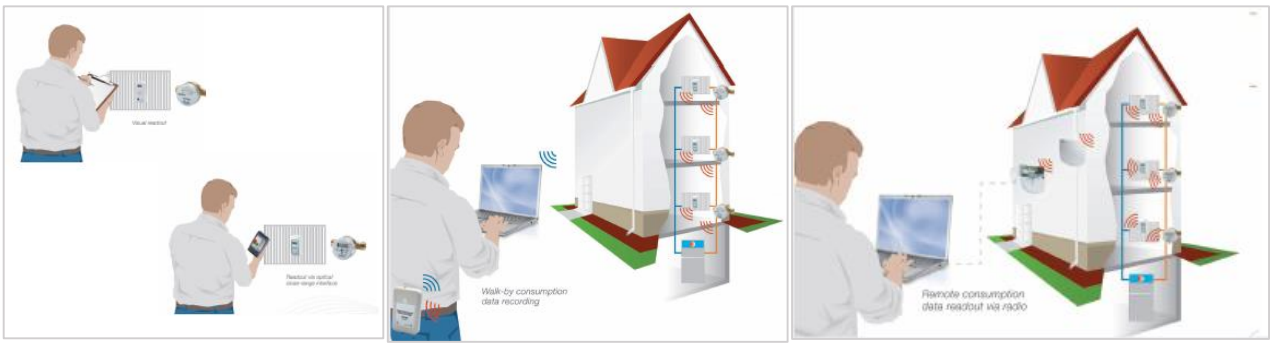


Figura 36-Lettura Visiva (a sx.), walk-by e con sistema GSM (a dx.) [52]

4.1.2. Direttiva Europea 2018/844 e lo "Smart Readiness Indicator"

Anche la direttiva che modifica la passata EPBD (Energy Perfomance in Buildings Directive) 2010/31/UE introduce alcune importanti novità in merito alla "informatizzazione" dei servizi tecnici in ambito residenziale [53].
La nuova direttiva sottolinea come l'obiettivo di riduzione del fabbisogno di energia primaria[17] passi, oltre che per gli incentivi di riqualificazione del parco edilizio esistente e per la diffusione degli edifici ad energia quasi zero, anche dalla responsabilizzazione dei consumatori.
Viene trattato per la prima volta il tema di "edifici intelligenti", caratterizzati dalla presenza di sistemi di automazione e controllo dell'edificio (BACS), adattabili sia a complessi edilizi esistenti sia a edifici di nuova costruzione. Quest'ultimi hanno come finalità quella di automatizzare le attività di monitoraggio e registrazione dei consumi, finora svolte attraverso ispezioni periodiche obbligatorie degli impianti di climatizzazione e controllo di qualità dell'aria.
La direttiva estende il concetto di "impianto tecnico" anche ai sistemi automatici di monitoraggio dello stesso, richiedendo l'installazione di dispositivi che "autoregolano" la temperatura degli ambienti, qualora risultino economicamente vantaggiosi.
L'introduzione sempre più marcata di dispositivi che incrementano lo scambio di informazioni tra l'interno dell'edificio e l'ambiente esterno consente anche ai produttori energetici di gestire più facilmente le richieste di carico complessive, attraverso azioni di "peak shaving" e "load leveling". I produttori possono contare sulla partecipazione attiva degli utenti, incrementando la qualità del servizio (Active Demand Response).
Per misurare la "predisposizione all'intelligenza" di un edificio, quindi la sua capacità di adattarsi alle richieste di utenza e rete, la direttiva europea definisce gli "Smart Readiness Indicators", un parametro comunitario le cui modalità di valutazione sono tutt'ora in fase di discussione.

[17] Fissato al 32,5% entro il 2030.

Questi indicatori hanno la finalità di informare in modo semplice l'utenza sulle possibilità tecnologiche offerte dal proprio appartamento, incentivandone lo sviluppo. Infatti, esprimono una valutazione sulla capacità dell'edificio di mettere in pratica delle funzioni di automazione. I "domini" riportati in figura seguente rappresentano tutti i possibili campi di applicazione dell'automazione:

Figura 37-Domini di applicazione dello SRI [40]

Si osservi l'importanza data al "monitoring and control", ultimo dominio riportato nella figura sovrastante.
A ciascun dominio vengono, come detto, assegnate diverse funzioni di automazione. Ad esempio, al dominio "heating" può essere assegnata la funzione "regolazione automatica della temperatura di mandata in funzione delle condizioni esterne", realizzata con una centralina comandata con sonda di temperatura esterna.
Ciascuna funzione di automazione ha diversi impatti, i quali sono riportati in figura:

Figura 38-Criteri di impatto [40]

A titolo esemplificativo, viene riportata la procedura seguita per il calcolo dell'SRI per il dominio "Heating – Generator Control":

code	service												
Heating-2a	**Heat generator control (for combustion and district heating)**	Service group:			Control heat production facilities								
Functionality levels		**IMPACTS**								**market uptake / TRL**		**Inspection time [minutes]**	**Preconditions / supporting technologies and services**
		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Self generation	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants	residential	non-residential		
level 0	Constant temperature control	0	0	0	0	0	0	0	0	default	default	0	-
level 1	Variable temperature control depending on outdoor temperature	+	0	0	+	0	0	0	0	common	common	1	outdoor temperature sensor, flow temperature sensor
level 2	Variable temperature control depending on the load (e.g. depending on supply water temperature set point)	++	0	0	++	0	0	0	0	rare	common	2	communication to distribution/heat consumer, flow sensor
level 3		-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-
level 4													

Figura 39-Esempio 1 calcolo SRI [40]

Viene assegnata una valutazione, da 0 fino ad un valore massimo, all'effetto delle diverse funzioni di automazione su ciascun "criterio di impatto". Ad esempio, l'implementazione di un sistema di regolazione della temperatura in funzione del set-point (scelto dall'utenza) ha un impatto positivo sul risparmio energetico (si consuma solo quanto richiesto) e sul comfort. Per ciascun livello di automazione vengono indicati i dispositivi necessari alla sua realizzazione (sensori di temperatura, sensori di portata, etc.).

L’SRI verrà calcolato considerando una media pesata (con pesi ancora da definire) dei singoli punteggi raggiunti da ciascun livello di automazione.
Si specifica che a ciascun edificio non verranno assegnati tutti i domini di figura 37, ma soltanto quelli “realisticamente” applicabili. Inoltre, per ciascun dominio verranno considerati soltanto i livelli di automazione realizzabili in quell’edificio.
Nella figura seguente è riportato un secondo esempio di calcolo di SRI, applicato al dominio “Heating – Report Information”:

code	service												
Heating-3	**Report information regarding HEATING system performance**	Service group:		Information to occupants and facility managers									
Functionality levels		**IMPACTS**								**market uptake / TRL**		**Inspection time [minutes]**	**Preconditions / supporting technologies and services**
		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Self generation	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants	**residential**	**non-residential**		
level 0	None	0	0	0	0	0	0	0	0	default	default	0	-
level 1	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	+	0	0	0	0	0	+	+	common	common	2	-
level 2	Actual values and historical data	+	0	0	0	0	0	+	++	rare	rare	3	-
level 3	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	+	0	0	0	0	0	+	+++	rare	rare	5	-
level 4	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking; also including predictive management and fault detection	+	0	0	0	+	0	++	+++	rare	rare	7	-

Figura 40-Esempio 2 calcolo SRI [40]

I due esempi di calcolo mostrano come a ciascun “macro-dominio” (fig. 37) è possibile assegnare diversi SRI. Ad esempio, per il dominio “heating” è stato possibile associare un primo SRI relativo all’aspetto di “controllo del sistema di generazione” e un secondo SRI legato al tema “informazione all’utenza”.

4.2. Attività di Progettazione Sistema “Smart”

4.2.1. Descrizione Piattaforma IoT

Come accennato in fase introduttiva, uno dei requisiti che identificano un sistema di contabilizzazione e termoregolazione “intelligente” è la possibilità di informare gli utenti sull’andamento temporale dei rispettivi consumi energetici.
Al fine di ricevere un’indicazione che consenta di mettere in pratica azioni volte al risparmio energetico, senza compromettere il comfort all’interno degli ambienti riscaldati, è fondamentale che venga garantita una frequenza di informazione maggiore rispetto a quella tipicamente stagionale. Infatti, un’utenza che prende visione dei propri consumi soltanto alla fine del periodo di riscaldamento può fare molto poco per “aggiustare” l’eventuale gestione errata di utilizzo delle valvole termostatiche. Un comportamento virtuoso è invece garantito più facilmente se le indicazioni vengono ricevute con cadenza mensile, giornaliera o persino oraria, specialmente se corredate di suggerimenti a misura del singolo appartamento su come conseguire il risparmio.
Chiaramente, va fatta una riflessione sulla tipologia di informazione che deve essere trasmessa all’utenza. Non è pensabile che l’utente medio riesca ad interpretare correttamente, senza nessuna difficoltà, delle informazioni di carattere strettamente tecnico, a meno che non si tratti di un esperto nel settore. Di conseguenza, è preferibile che nella definizione degli indici “semplificati” si omettano gli aspetti quantitativi che caratterizzano il riscaldamento ambientale e ci si limiti ad esporre qualitativamente alcune informazioni salienti sulla gestione del sistema di termoregolazione. Il punto precedentemente accennato verrà approfondito nel paragrafo successivo.
Di seguito, a valle di una ricerca delle soluzioni IoT presenti attualmente sul mercato, vengono esposte le caratteristiche principali della piattaforma di raccolta ed elaborazione dati che è stata selezionata durante la presente tesi [54]. Questa costituisce lo strumento tramite il quale l’utenza può essere informata degli effetti della termoregolazione nel proprio appartamento.
Presentando le informazioni in modo chiaro ed essenziale (tramite grafici e tabelle), la piattaforma IoT diventa uno dei componenti essenziali per la progettazione del sistema di termoregolazione e contabilizzazione “smart”.
Tutti gli attori coinvolti nella gestione del sistema (Amministratore della Piattaforma, Manutentore/Letturista, Amministratore di Condominio, Utente finale) possono accedere al portale Web tramite l’inserimento delle proprie credenziali, come mostrato in figura:

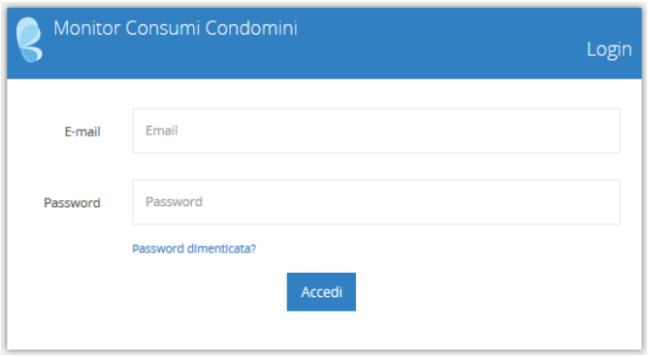


Figura 41-Pagina Accesso Portale MCC [54]

A ciascuna tipologia di utente sono concesse funzionalità differenti:

- L’amministratore del sistema può visionare le statistiche di tutti i condomini monitorati, apportando sul sito le modifiche desiderate per una visualizzazione dei dati differente da quella predefinita;

- L’amministratore di condominio può conoscere le letture di tutti gli utenti del proprio condominio. Oltre alle statistiche e ai dati di consumo, può accedere alla pagina di ripartizione delle spese;
- L’utente finale ha accesso esclusivamente ai propri dati, presentati tramite grafici dinamici (che riportano l’andamento temporale dei consumi relativi al servizio di riscaldamento e acqua calda sanitaria). È consentito il confronto dei propri consumi soltanto con il valore complessivo dell’intero edificio. Per ragioni di privacy, non ha accesso ai consumi degli altri inquilini dello stabile.

Accedendo all’homepage del sito si presenta l’interfaccia visibile in figura seguente:

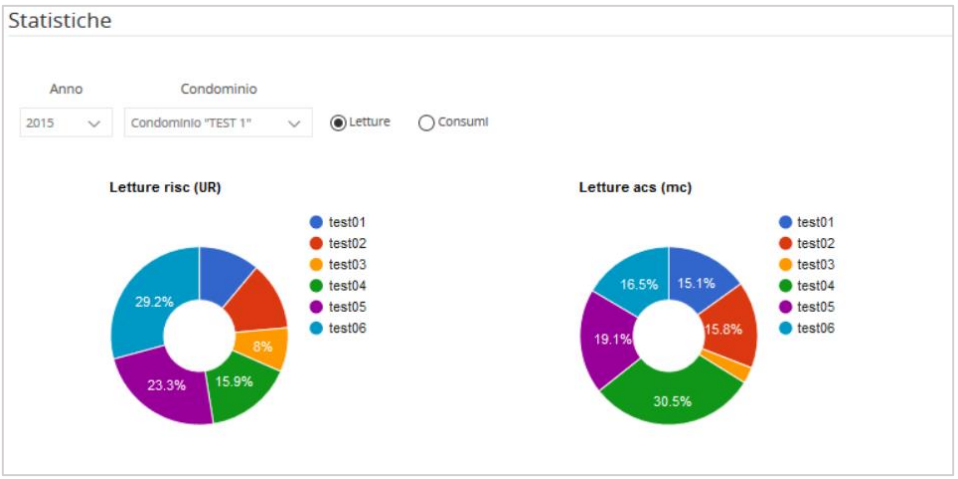


Figura 42-Pagina Principale MCC [54]

I grafici a torta mostrano l’incidenza dei consumi del singolo utente rispetto ai restanti (o al totale). Gli utenti possono visualizzare i consumi con una panoramica sull’intero condominio o sul singolo appartamento.

La voce “letture” consente di visualizzare, a livello condominiale, l’andamento dei consumi cumulati durante tutto l’arco temporale indicato alla voce “Selezione Periodo”. Si noti l’azzeramento delle UR al termine della stagione di riscaldamento (figura 43). Contrassegnando invece la voce “Consumi” si dispone delle UR contabilizzate per l’intero periodo selezionato fino al mese scelto alla voce “Mese Riscaldamento”.

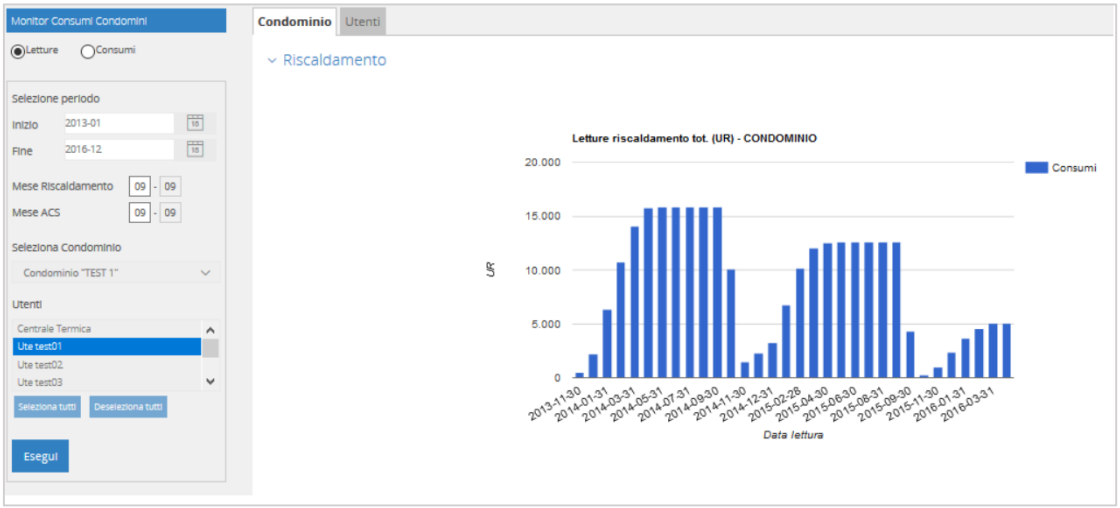


Figura 43-Letture Condominio [54]

I consumi complessivi possono essere presentati con grafici a tachimetro (per i diversi servizi) e con diagramma dinamico, come mostrato nel seguito:

Figura 44-Consumi condominio Totale [54]

Nel caso si selezioni la voce "Utenti", si otterrà un istogramma comparativo delle UR cumulate nei diversi anni dal singolo utente finale, fino al mese scelto (ad es. Settembre per il grafico in figura 45). Le barre visibili nel grafico sono soltanto quelle relative agli anni per cui si dispone di dati già caricati all'interno della piattaforma:

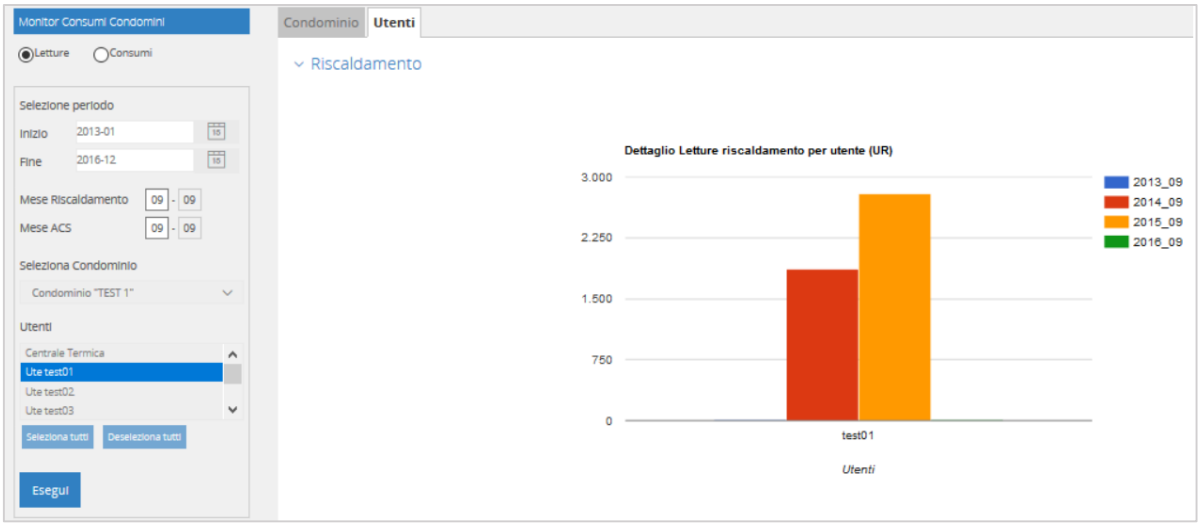


Figura 45-Visualizzazione per singolo utente [54]

I consumi visibili dal singolo utente possono essere riferiti sia all'appartamento complessivo, come in figura 45, sia caratteristici del singolo ambiente riscaldato.
La registrazione del sistema di contabilizzazione all'interno del portale avviene attraverso una procedura di caricamento delle letture effettuabile manualmente o, dopo aver configurato il

condominio, tramite procedura automatica (e-mail). Il portale verifica che le letture estratte dai singoli ripartitori, in formato differente a seconda della tecnologia considerata, rispettino il formato richiesto. La procedura di valutazione del file importato è visibile in figura:

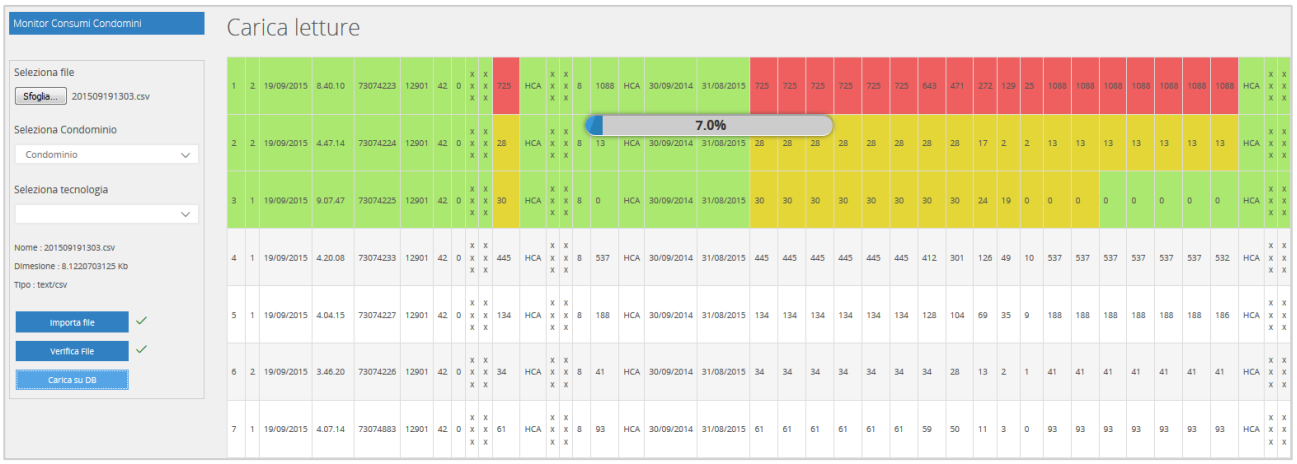


Figura 46-Fase di caricamento letture su MCC [54]

Una volta verificata la correttezza del formato, i valori "nuovi" (in rosso) vengono memorizzati dal sistema, mentre in giallo sono evidenziati i dati in fase di sovrascrittura o aggiornamento.
Di seguito è riportata la visualizzazione, in forma tabellare, dei consumi di più utenze a livello di singolo ambiente:

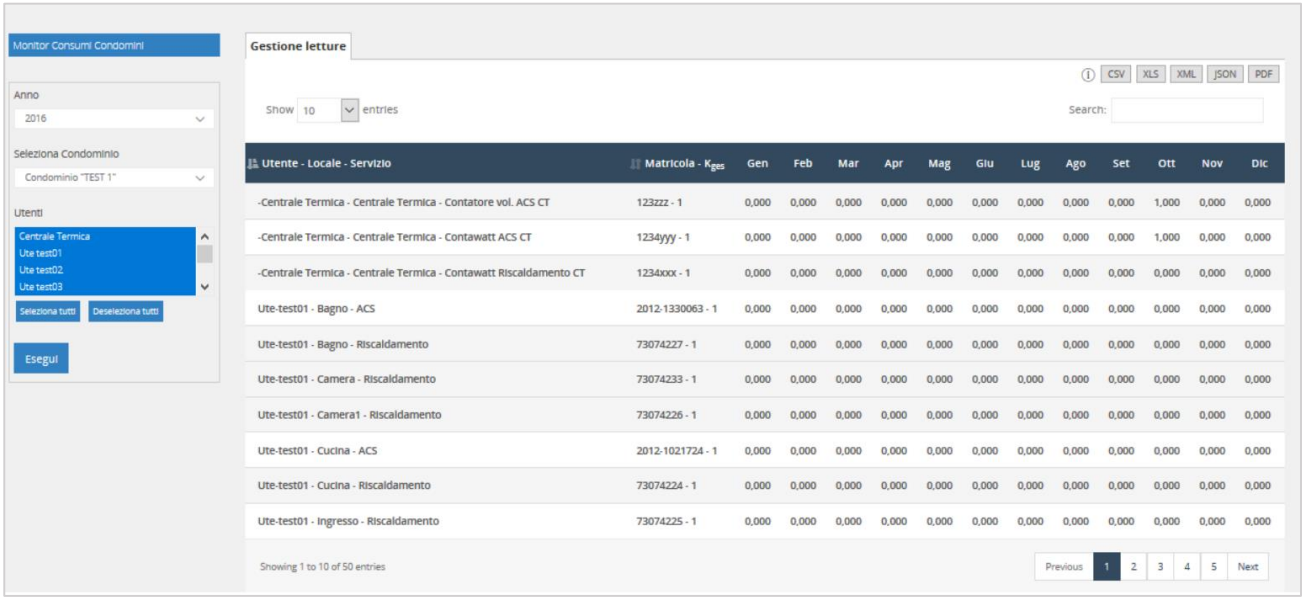


Figura 47-Consumi singolo appartamento [54]

Come mostrato in figura 48, è possibile disporre del totale delle spese stagionali differenziate per ciascun vettore energetico:

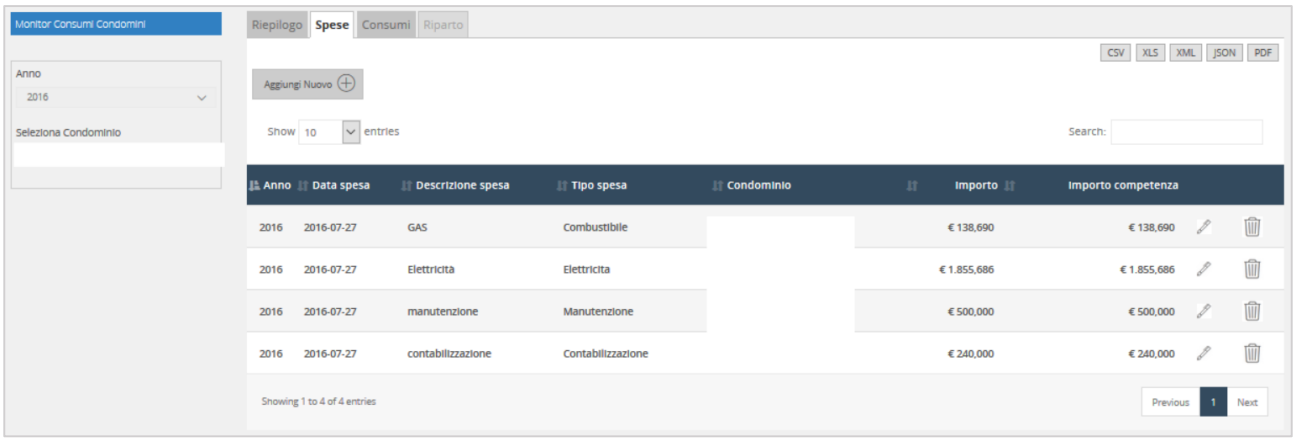


Figura 48-Totale Spese MCC [54]

Infine, la piattaforma esegue la ripartizione delle spese in base alle modalità descritte dalla UNI 10200 (dividendo tra componente volontaria e involontaria). Nel seguito si riporta solo la voce di spese "energia climatizzazione":

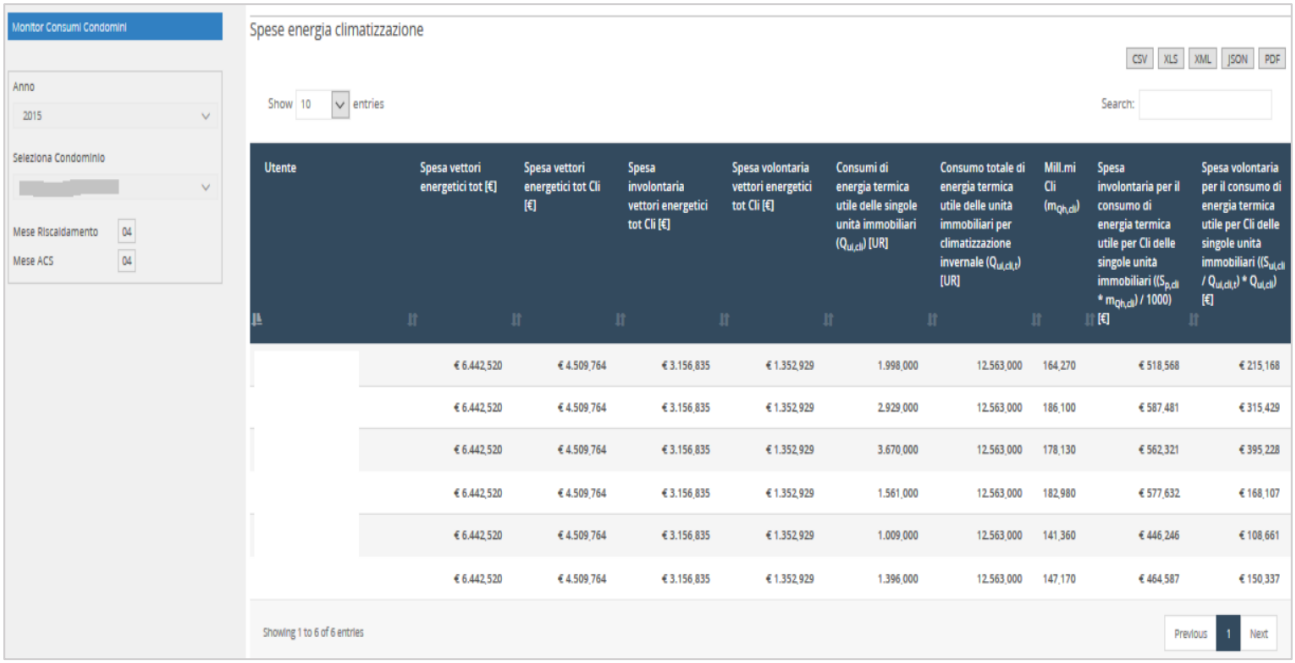


Figura 49-Ripartizione Spese servizio di Riscaldamento [54]

4.2.2. Definizione Indici Qualitativi e logiche di monitoraggio

In questa fase viene esposta la logica di definizione degli indicatori di risparmio energetico da inserire all'interno della piattaforma IoT. Si ritiene che, considerando le informazioni attualmente a disposizione del singolo utente, quest'ultimo necessiti di indicazioni aggiuntive che descrivano in modo più completo le modalità di gestione del proprio sistema di termoregolazione.
Un confronto tra le UR registrate nella stagione in corso e quelle misurate nello stesso periodo dell'anno precedente (fig. 45), può non essere sufficiente a rintracciare l'effettivo risparmio conseguito. Infatti, un valore inferiore di UR rispetto alla stagione passata non necessariamente è sintomatico di una migliore regolazione del sistema, ma può semplicemente attribuirsi all'effetto di condizioni esterne complessivamente più favorevoli rispetto alle precedenti, che limitano le dispersioni attraverso l'involucro edilizio e, di conseguenza, l'energia richiesta ai corpi scaldanti.
In generale, la scelta di utilizzare le stagionalità passate come parametro di confronto per quella attuale può rivelarsi poco corretta. La variabilità delle misure condotte su periodi pregressi è spesso non trascurabile, potenzialmente influenzata da fasi dell'anno in cui l'impianto è utilizzato in modo "atipico" (programmi di riscaldamento diversi rispetto a quelli solitamente adottati), o caratterizzata da periodi di spegnimento per l'assenza temporanea degli inquilini.
Sarebbe meglio utilizzare come riferimento ("benchmark") un valore calcolato a partire da profili "tipici" di consumo. Questi vengono ricavati attraverso una diagnosi energetica dell'appartamento, condotta ipotizzando una modalità di occupazione reale dell'edificio (condizioni A3 "tailored rating"). Si ritiene che quest'ultima possa rappresentare un'ipotesi più affidabile, poiché qualunque indicazione di "sovra-consumo" è calcolata a partire da un confronto con il fabbisogno reale della zona in esame, ovvero con l'energia minima richiesta ai terminali di impianto per mantenere in condizioni di comfort termo-igrometrico l'ambiente[18].
Tuttavia, quanto esposto finora limita ancora il campo di ricerca ad un'informazione poco esaustiva. Sapere "quanto" si sta consumando, anche rispetto ad un comportamento ideale, non è necessariamente indicativo di "come" lo si sta facendo. Si immagini, ad esempio, un'utenza che pur di ridurre al minimo il consumo è disposta a vivere in un ambiente caratterizzato da temperature interne molto basse. In questo caso il risparmio conseguito non è identificativo di una gestione corretta della termoregolazione, visto il "sacrificio" richiesto e la sensazione di discomfort avvertita negli ambienti abitati (oltre che possibili fenomeni di condensa sulle pareti). A tale scopo, si è scelto di affiancare all'indicazione sul consumo effettivo anche un indice basato sulla rilevazione della temperatura all'interno dei locali.
In questo modo, l'utenza può essere aggiornata sia sul consumo reale, sia avere accesso ad una panoramica delle temperature rilevate in ogni locale, che gli consente di risalire più facilmente alla causa principale del sovra-consumo (per esempio, il locale che si trova alla temperatura più distante da quella ipotizzata in condizioni ideali di comfort).
Un altro aspetto da analizzare è legato all'identificazione della frequenza ottimale con cui disporre dei suddetti indici. Questa deve permettere agli inquilini di intervenire in modo rapido sull'impianto al fine di correggere eventuali anomalie di gestione. Il tema è già stato discusso in ambito normativo, dove si è stabilito che entro il 1° Gennaio 2022 gli utenti dotati di contatori intelligenti debbano ricevere una fatturazione che attesti l'andamento dei consumi almeno una volta al mese (cfr. par. 4.1.1). Tuttavia, se un'informazione mensile può essere sufficiente a mantenere "sotto controllo" l'andamento dei consumi[19], non può ritenersi adatta a segnalare disattenzioni temporanee da parte

[18] Si noti come quest'ultimo dato non sia influenzato dall'effettiva variabilità dei consumi relativi a stagioni passate, consentendo di superare la criticità esposta.
[19] Evitando spiacevoli sorprese in bolletta alla fine della stagione di riscaldamento.

dell'utenza (ad es. radiatori accesi durante la pulizia degli ambienti, tipicamente condotta con finestre e porte aperte). È chiaro che, per correggere questo tipo di eventi, più l'informazione è data in tempo reale (es. frequenza oraria) più sarà possibile intervenire in tempo utile. Tuttavia, una frequenza di rilevazione dei consumi molto alta si scontra con alcuni limiti di tipo tecnologico. Se la batteria di alimentazione degli attuali sistemi di contabilizzazione è tarata per una durata media pari a 10 anni, lo stesso non può essere garantito se, invece di una volta al mese, il sistema dev'essere interrogato più volte in un'ora. Anche la frequenza di trasmissione dei dati a remoto dev'essere compatibile con le esigenze di lettura stabilite. Ne consegue che una transizione verso sistemi "smart" deve necessariamente corrispondere ad un adeguamento del sistema.
Gli indici presentati nei paragrafi successivi rappresentano una sintesi di quanto esposto. L'elaborazione degli stessi prende spunto dalle attività di ricerca svolte da ENEA in collaborazione con l'Università di Cassino sullo stesso tema [4] [49]. Insieme alla definizione degli indici qualitativi, verranno esplicitati alcuni aspetti legati alle loro modalità di utilizzo e frequenza di calcolo.
Si specifica che, in fase di applicazione di quest'ultimi agli edifici esaminati, alcune limitazioni riscontrate sul sistema in campo, unite all'esigenza di dover esprimere in modo semplice l'informazione per l'utenza, hanno reso necessario adattare l'indice a ciascun caso studio.

4.2.2.1. Indice Consumo Giornaliero – Per singolo ambiente o Intero Edificio

L'indice di consumo giornaliero effettua un confronto tra il fabbisogno energetico teorico di riscaldamento di ciascun ambiente e il consumo realmente misurato. È definito come:

$$IG_1 = \frac{Q_{real} - Q_{th}}{Q_{th}}\% \qquad (25)$$

Dove:

- "Q_{real}" [kWh]: consumo effettivamente registrato tramite contabilizzazione indiretta. Poiché i sistemi indiretti eseguono una misura del calore erogato dai terminali in UR (cfr. par 2.1), è necessario conoscere il coefficiente di conversione che identifica il rapporto kWh/UR, spesso noto in fase di taratura del sistema;
- "Q_{th}" [kWh]: fabbisogno teorico giornaliero, calcolato considerando il profilo di occupazione reale del locale. Questo termine può essere calcolato utilizzando le due procedure esposte di seguito:

1. Effettuare una diagnosi energetica in condizioni A3 dell'ambiente (o appartamento) considerato, per determinarne il fabbisogno di energia di riscaldamento "$Q_{th,risc}$" [kWh]. Quest'ultimo tiene conto di un profilo giornaliero di temperatura interna che simula l'utilizzo effettivo del locale. La diagnosi è tipicamente svolta su base stagionale considerando condizioni climatiche medie. Per passare al fabbisogno teorico giornaliero si utilizza la formula seguente:

$$Q_{th} = Q_{th,risc} * \frac{GG_i}{GG_{tot}} \qquad (26)$$

   Dove "GG_i" e "GG_{tot}" sono rispettivamente i gradi giorno effettivi dell'i-esima giornata e i gradi giorno dell'intera stagione di riscaldamento, gli stessi utilizzati in fase di diagnosi energetica.

2. Ricorrere alla procedura semplificata proposta nell'allegato 2 del D.M. 26/06/2009 [55]. Questa consente di stimare il fabbisogno di riscaldamento medio del locale utilizzando la procedura "semi-stazionaria" descritta nell'equazione seguente:

$$Q_{th} = 0{,}024 * (H_t + H_v) * GG_i - f_x * (Q_s + Q_i) \qquad (27)$$

In particolare:

- GG_i $[°C]$: Gradi giorno effettivi riferiti all'i-esima giornata di riscaldamento. Questi vengono calcolati come:

$$GG_i = \sum_{k=1}^{24} \left(T_{set-pt.} - T_{ext}\right)_k \qquad (28)$$

Differenza tra la temperatura di set-point del singolo locale, "$T_{set-pt.}$", e la temperatura esterna "T_{ext}", valutate nella k-esima ora della giornata. La "$T_{set-pt.}$" è nota supponendo un profilo di temperatura giornaliero caratteristico dell'ambiente riscaldato. Tipicamente, si ipotizza una temperatura di 20°C nelle ore in cui il locale è occupato e 17°C÷18°C nelle ore in cui il locale non è occupato e, dunque, i terminali di riscaldamento sono spenti. La "T_{ext}" è determinata a partire da misure orarie della temperatura esterna nel sito in esame;

- H_t $[W/K]$: coefficiente globale di scambio termico per trasmissione. Si ottiene a partire dai valori di trasmittanza di tutte le superfici dell'ambiente riscaldato confinanti con l'esterno e con locali non climatizzati (o climatizzati a temperatura sensibilmente diversa);
- H_v $[W/K]$: coefficiente globale di scambio termico per ventilazione;
- Q_i $[kWh]$: Apporti interni gratuiti;
- $Q_s[kWh]$: Apporti solari che interessano le superfici trasparenti del locale;
- f_x: coefficiente di utilizzazione degli apporti gratuiti;

Il primo metodo tra i due proposti risulta più accurato e di semplice applicazione, servendosi dei risultati di un software commerciale che effettua la diagnosi energetica. Peraltro, quest'ultima si rende necessaria, a seguito degli obblighi introdotti dal decreto "Requisiti Minimi" [61], per edifici residenziali che effettuano una ristrutturazione dell'impianto e per i condomini che devono attenersi al criterio di ripartizione delle spese fisse di riscaldamento basato sui millesimi di fabbisogno energetico, come prescritto dalla UNI 10200:2018.

Per rendere più chiaro all'utenza il risultato dell'indice giornaliero, si propone di associare una scala di numeri naturali (da 0 a 5) a ciascun intervallo percentuale in cui può ricadere "IG_1". Ogni numero della scala è preceduto dal segno negativo, o positivo, qualora si attesti un risparmio, o un sovra-consumo rispetto al valore di riferimento. La tabella 4 seguente riassume quanto indicato.

L'indice qualitativo "IG_1" può essere applicato in tutti gli edifici dotati dei seguenti sistemi:

- Ripartitori di calore / Sistemi ITC che rendono disponibile alla piattaforma di monitoraggio remota, con frequenza giornaliera, le unità di ripartizione realmente consumate in ogni locale (o nell'appartamento). Queste vengono utilizzate per il calcolo del "Q_{real}";
- Data-Logger di Temperatura installati all'esterno dell'edificio, per una misura oraria della temperatura esterna finalizzata al calcolo dei gradi giorno "GG_i";

Inoltre, per una corretta valutazione dell'indice, bisogna disporre dei risultati della diagnosi energetica dell'unità abitativa (o di ogni locale dell'appartamento).

$+75\% \leq IG_1 \leq +100\%$	+5	☹
$+50\% \leq IG_1 \leq +75\%$	+4	☹
$+30\% \leq IG_1 \leq +50\%$	+3	☹
$+20\% \leq IG_1 \leq +30\%$	+2	☹
$+10\% \leq IG_1 \leq +20\%$	+1	☹
$-10\% \leq IG_1 \leq +10\%$	0	😐
$-20\% \leq IG_1 \leq -10\%$	-1	☺
$-30\% \leq IG_1 \leq -20\%$	-2	☺
$-50\% \leq IG_1 \leq -30\%$	-3	☺
$-75\% \leq IG_1 \leq -50\%$	-4	☺
$-100\% \leq IG_1 \leq -75\%$	-5	☺

Tabella 4 – Info-grafica indice giornaliero per utenza

4.2.2.2. Indice Temperatura Orario – Per singolo ambiente

L'indice di temperatura orario fornisce un'informazione per singolo ambiente sulla temperatura misurata attraverso un sensore (data-logger di temperatura) posto all'interno dell'ambiente riscaldato. Accoppiato al precedente "IG_1" consente di effettuare una valutazione qualitativa sull'utilizzo del sistema di termoregolazione. Si osservi come la frequenza oraria di registrazione della temperatura ambientale consenta di riconoscere in tempo "quasi reale" eventuali anomalie di gestione del sistema. L'indice si calcola come:

$$IG_2 = T_{real} - T_{set-pt.} \qquad (29)$$

Dove:

- $T_{set-pt.}$: Temperatura di set-point oraria del singolo locale. Come visto per il calcolo del "Q_{th}" (cfr. paragrafo precedente), si ipotizza, ora per ora, un valore di temperatura di riferimento per ciascun ambiente riscaldato che simuli il profilo di occupazione del locale nell'arco della giornata;
- T_{real}: Temperatura oraria effettiva del singolo locale.

Gli indici "IG_1" e "IG_2", da implementare all'interno della piattaforma Web, devono evidenziare eventuali scostamenti dei parametri rispetto ai valori di riferimento, se superiori ad una certa soglia di tolleranza.
Una potenziale logica di monitoraggio adottabile dall'utenza consiste nel:

1. Controllare l'andamento orario di "IG_2". In questo modo è possibile verificare che la temperatura ottenuta tramite termoregolazione ambientale sia in linea con il valore di set-point corrispondente ad una gestione "virtuosa" del sistema;
2. Verificare, tramite l'informazione fornita da "IG_1" a fine giornata (o dalle UR misurate per ogni locale, cfr. par. 4.2.2.5.), che il consumo non sia superiore rispetto al riferimento giornaliero.

Questa procedura può esporre l'utenza a differenti scenari:

- Se l'indice di consumo giornaliero presenta colorazione rossa (tabella 4), evidenziando un consumo eccessivo nel locale considerato, e "IG_2" si è mantenuto a valori superiori a "+1" per un numero sostanziale di ore della stessa giornata, è possibile che la temperatura impostata nel locale tramite valvole termostatiche sia eccessiva rispetto alle reali esigenze di comfort (es. valvola lasciata erroneamente in condizione di apertura massima);
- Se l'indice di consumo giornaliero presenta colorazione rossa e "IG_2" si è mantenuto a valori compresi tra "-2" e "0" per un numero sostanziale di ore della stessa giornata, è possibile che il locale sia stato soggetto a eccessive perdite per ventilazione (es. ambiente che non raggiunge mai, o quasi mai, la temperatura di set-point oraria perché le finestre vengono lasciate aperte mentre il riscaldamento è attivo);
- Se l'indice di consumo giornaliero presenta colorazione gialla o verde e "IG_2" si è mantenuto a valori superiori rispetto a "-1", il sistema è stato utilizzato in modo complessivamente corretto, sfruttando al meglio gli apporti gratuiti solari e il calore disperso in ambiente dalle persone.

In accordo a quanto fatto per "IG_1", viene proposta una visualizzazione grafica di "IG_2" che metta maggiormente in risalto il comportamento dell'indice per l'utente medio:

$IG_2 > +1\ °C$	☼	**Temperatura interna maggiore di quella di comfort (si consiglia un'apertura minore della valvola termostatica)**
$-1\ °C \leq IG_2 \leq +1\ °C$	✓	**Temperatura interna pari al valore di comfort**
$IG_2 < -1\ °C$	❄	**Temperatura interna minore di quella di comfort (controllare che le finestre dell'ambiente siano chiuse correttamente)**

Tabella 5 - Info-grafica indice di temperatura

L'indice qualitativo "IG_2" può essere applicato in tutti gli edifici dotati dei seguenti sistemi:

- Data-Logger di Temperatura, installati all'interno di ogni locale riscaldato, per la registrazione (su piattaforma Web di monitoraggio dei consumi) della temperatura interna. I sensori di temperatura devono essere posizionati in modo da non risentire di eventuali sorgenti disturbo locali (es. corpi scaldanti o finestre).

4.2.2.3. Indice di Consumo Mensile – Intero Appartamento

L'indice giornaliero, pur rappresentando un parametro estremamente utile nel favorire una risposta rapida dell'utenza, è influenzato dalla forte variabilità delle condizioni climatiche che caratterizzano la singola giornata.
Per questo motivo, è utile dare all'utenza anche un'indicazione che sia di carattere più "generale", calcolata su base mensile. Si precisa che questa può essere utilizzata solo come parametro riassuntivo dei risultati raggiunti a partire dall'acquisizione delle indicazioni giornaliere.
La definizione dell'indice mensile è del tutto analoga a quella di "IG_1":

$$IM = \frac{Q_{real} - Q_{th}}{Q_{th}}\% \qquad (30)$$

In questo caso, però, il fabbisogno teorico, "Q_{th}", e quello misurato, "Q_{real}", sono calcolati con riferimento all'intero mese in esame.
Anche per questo indice può essere utilizzata l'info-grafica proposta in tabella 4.

4.2.2.4. Indice di Confronto Mensile – Intero appartamento

Consente all'utenza di confrontare il proprio profilo di consumo con un andamento rappresentativo della media di tutti gli inquilini dello stesso condominio, sottoposti a simili condizioni climatiche esterne. L'informazione andrebbe a completare quella già disponibile nella pagina iniziale della piattaforma web (cfr. figura 42 per profilo "utente finale"), che valuta l'incidenza percentuale del singolo utente sul consumo totale. La media viene calcolata selezionando tutte le utenze con profilo di occupazione dell'appartamento simile a quello in esame. Ne consegue che vanno scartati i consumi relativi a unità abitative parzialmente abitate o disabitate. Inoltre, la scelta di mediare il dato su tutti gli utenti dello stabile consente di "compensare" i consumi più alti o più bassi caratteristici degli appartamenti tipicamente più o meno "svantaggiati".
L'indice è definito come:

$$IC = \frac{IM_{utente} - IM_{media}}{IM_{media}}\% \qquad (31)$$

Dove:

- $\boldsymbol{IM_{utente}}$: Indice mensile dell'utente considerato (cfr. par. 4.2.2.4);
- $\boldsymbol{IM_{media}}$**:** Media degli indici mensili degli inquilini dello stesso condominio.

Si ritiene inoltre che l'indice possa avviare un meccanismo di "competizione energetica" tra gli inquilini, con l'obbiettivo di conseguire il risparmio energetico maggiore.

4.2.2.5. Indice di Consumo Giornaliero ENEA – Singolo Locale

L'indice presentato nel seguito è stato selezionato da una ricerca ENEA finalizzata a valutare l'impatto dei sistemi di termoregolazione e contabilizzazione sui risparmi energetici nel settore residenziale. Partendo direttamente dall'informazione sulle unità di ripartizione contabilizzate giornalmente, si ritiene che possa rappresentare un'indicazione utile a evidenziare cattive gestioni della termoregolazione ambientale.

U.I.	Codice radiatore	Vano	Potenza installata	UR
3	12	soggiorno	1869	756
3	11	camera	1462	482
3	9	camera	1112	678
3	8	ingresso	835	141
3	10	bagno	604	508

Figura 50-Indice di consumo ENEA

Il principio seguito è quello di affiancare al dato sulla potenza dei radiatori installati nei diversi locali il valore giornaliero delle unità calore contabilizzate dai corrispondenti ripartitori. In uno scenario in cui non è utilizzata la regolazione con valvole termostatiche i locali vengono riscaldati in proporzione alla potenza del radiatore in essi installato. Ci si attenderebbe, quindi, una rappresentazione delle UR

simile a quella della potenza installata, con valori più alti per i locali con radiatori di potenza maggiore e viceversa. Al contrario, utilizzando le valvole termostatiche, l'energia termica rilasciata dal radiatore è proporzionale alla portata che circola al suo interno, funzione del grado di apertura della valvola stessa. Osservando i risultati proposti in figura 50 è possibile elaborare diverse conclusioni sulle modalità di utilizzo del sistema.
Si osservi come, nonostante la potenza del radiatore 11 sia maggiore rispetto a quella del radiatore 9, le UR misurate in quest'ultimo ambiente siano maggiori. Ciò può essere ricondotto ad un differente utilizzo dei due ambienti, che porta l'utenza a posizionare la testina del radiatore 11 su una temperatura più bassa rispetto a quella impostata per il radiatore 9. In caso di utilizzo simile dei locali, però, il valore più alto di UR in camera 9 può essere sintomatico di un locale fortemente ventilato (finestre aperte) che non è in grado di raggiungere la temperatura impostata tramite regolazione. Un'altra possibile interpretazione è il posizionamento erroneo della testina manuale del radiatore 9 (caso molto frequente se il locale è destinato a ragazzi). Per quanto riguarda l'ingresso, un valore così basso di UR misurate può essere spiegato sia ipotizzando un utilizzo poco frequente del locale, con valvola termostatica in posizione di chiusura, sia dalla presenza di un possibile ostacolo che copre il radiatore (es. tenda) e che facilita una lettura erronea della temperatura da parte del sensore termico.

4.3. Risultati Monitoraggio Condominio Milano

I concetti esposti finora sul tema della contabilizzazione intelligente trovano ampia applicazione nei paragrafi successivi, dedicati alla descrizione dell'attività di monitoraggio del sistema Termo-Autonomo Wireless recentemente installato nell'edificio di Milano (cfr. par. 3.3).
La presenza di una tecnologia che, tramite un software di tele-gestione, consente di disporre in tempo reale dei parametri essenziali che caratterizzano l'intero impianto di riscaldamento, dal singolo appartamento/zona comune fino alla regolazione della caldaia centralizzata, ha permesso di "avvicinare" i requisiti che contraddistinguono i più moderni sistemi di contabilizzazione "smart".
Va specificato che, per ragioni che saranno più evidenti nel prosieguo della trattazione, il sistema non è equiparabile in ogni suo aspetto ad uno di tipo "intelligente". Tuttavia, rappresenta una solida base di partenza grazie al quale è stato possibile realizzare il caricamento delle letture all'interno della piattaforma IoT, testando su un campione di misure di consumi "reali" l'efficacia degli indici di qualità definiti in precedenza.

4.3.1. Dati disponibili dal software SWC 701

L'attività di monitoraggio del condominio, dalla durata di circa due settimane, ha permesso di raccogliere[20] informazioni su:

- Temperature di mandata e ritorno al locale caldaia del fluido termovettore e numero di corpi scaldanti accesi al momento della chiamata da remoto al sistema;

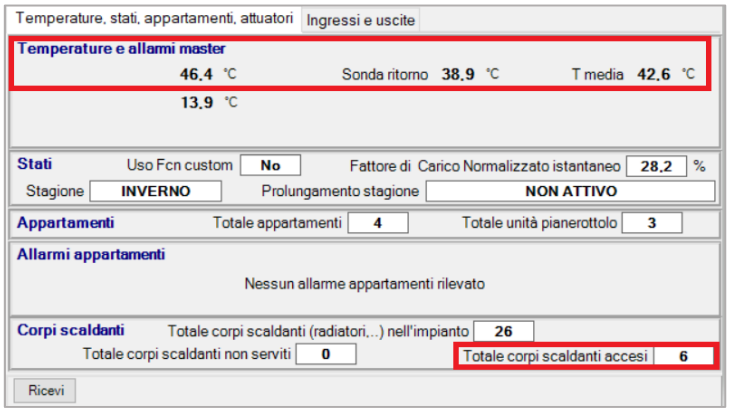


Figura 51-Registrazioni Unità Centrale Condominio

- Registrazioni giornaliere, con frequenza di campionamento dei dati pari a 15 min, di: temperatura esterna, fattore di carico normalizzato (cfr. Equazione 15), percentuale di attuatori aperti e potenza istantanea richiesta dal condominio (valore percentuale calcolato rispetto alla potenza nominale). Si noti il picco (caratteristico delle prime ore del mattino) della curva rappresentativa della percentuale di attuatori aperti;

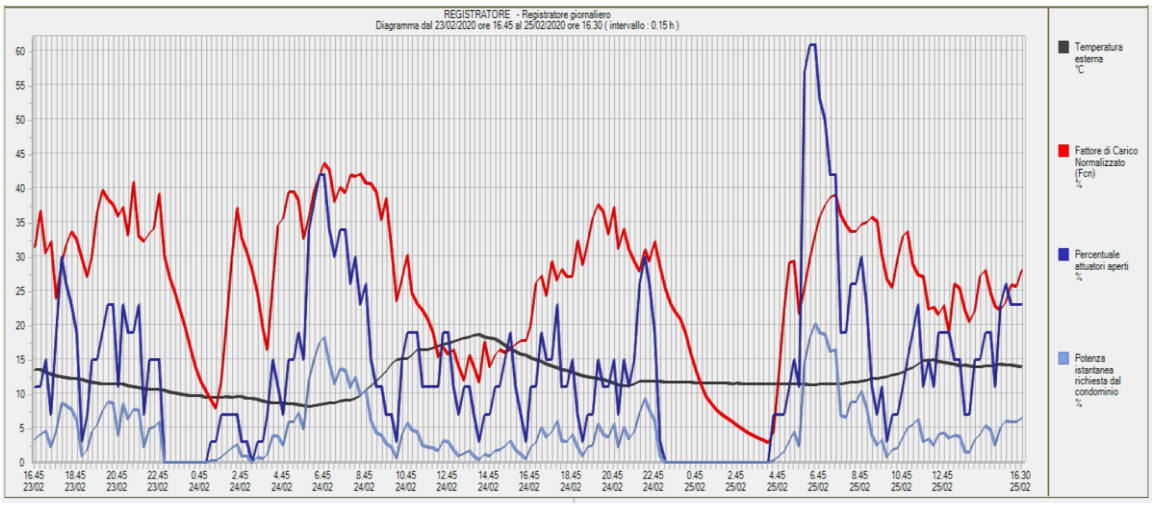


Figura 52-Registrazioni Giornaliere Unità Centrale

- Registrazioni annuali, con frequenza di campionamento dei dati pari a 8 h, di: temperatura esterna, fattore di carico normalizzato, percentuale di attuatori aperti e potenza media richiesta dal condominio. Si noti l'azzeramento nel periodo estivo della percentuale di attuatori aperti (curva celeste), della potenza giornaliera richiesta (curva verde) e del fattore di carico normalizzato (curva rossa);

[20] Protocollo di connessione al sistema in campo di tipo TCP/IP

Figura 53-Registrazioni Annuali Unità Centrale

- Registrazioni stagionali dei consumi medi giornalieri di ogni appartamento. I consumi sono espressi in PA uso (curva blu in basso), PA max (curva rossa) e CUI % (curva celeste), la cui definizione è consultabile al paragrafo 2.1.4. L'arco temporale di visualizzazione dei dati può essere modificato accedendo ad una lettura precedente, memorizzata nello storico dell'appartamento;

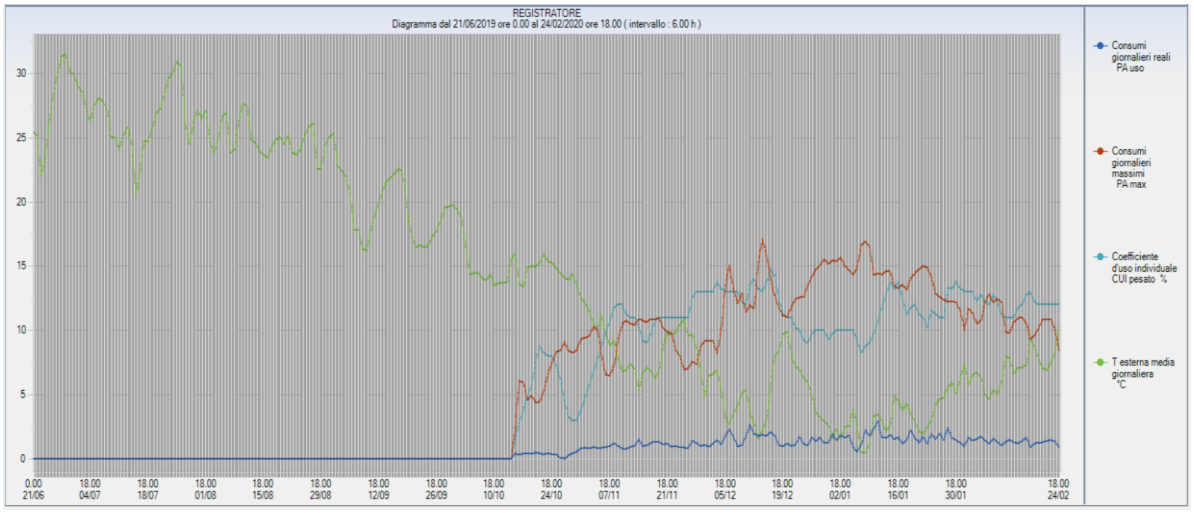


Figura 54-Registrazioni Giornaliere Appartamento Piano Terra

- Stato del regolatore (ON/OFF), temperatura interna misurata dal sensore posto sul regolatore, stato della batteria e temperatura voluta dal programma di riscaldamento impostato, al momento della chiamata da remoto al sistema. Si noti come la sonda di temperatura sia fortemente influenzata dalla presenza del corpo scaldante, soprattutto quando il sistema è in stato di ON:

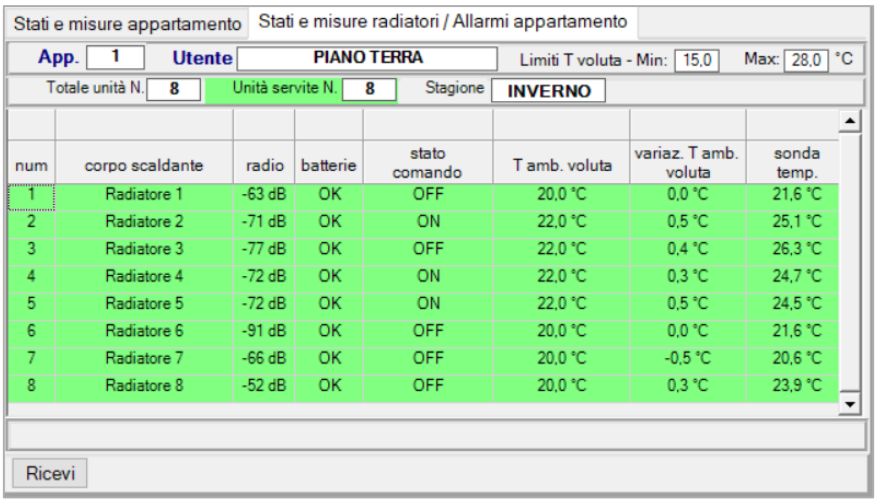


Figura 55-Stati e misure radiatori appartamento piano terra

- Programma di riscaldamento in atto al momento della chiamata da remoto;

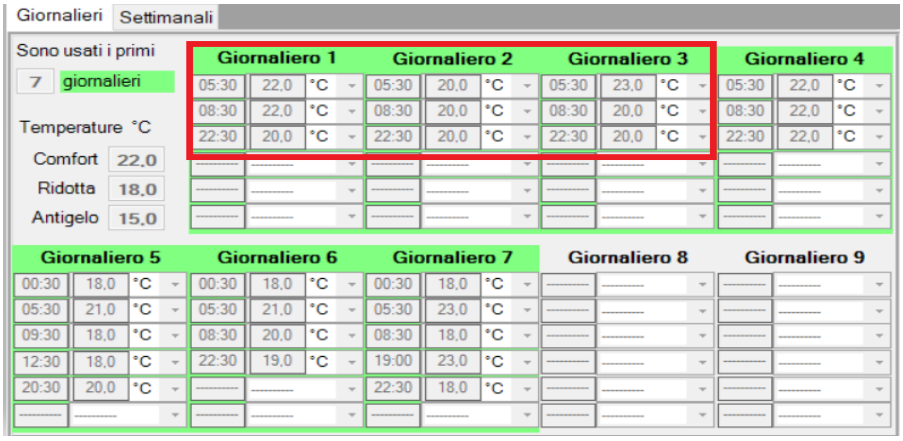


Figura 56-Programma di Riscaldamento Appartamento Piano Terra

- Consumi stagionali e ore di funzionamento del sistema fino al momento della chiamata da remoto al sistema;

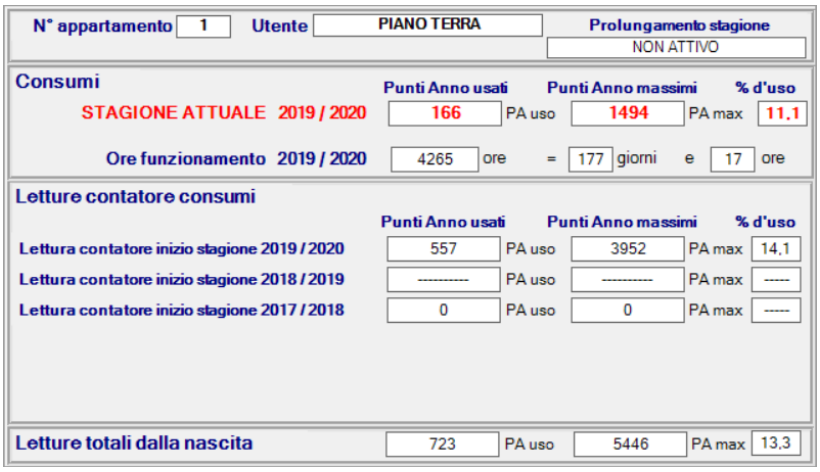


Figura 57-Consumi Consuntivati Piano Terra

- Curva di regolazione della temperatura climatica in funzione della sonda esterna:

Figura 58-Regolazione Climatica

4.3.2. Caricamento Condominio su Piattaforma IoT

Una volta raccolte le informazioni sui consumi stagionali, è necessario registrare il condominio all'interno della piattaforma descritta al paragrafo 4.2.1, per consentirne una visualizzazione grafica e procedere all'implementazione degli indici qualitativi.
I consumi di ogni appartamento vengono estratti in formato "csv" e inseriti all'interno di un "template" che li rende compatibili alla lettura automatica da parte del portale.
In questa prima fase, il caricamento avviene in modo manuale. Tuttavia, per by-passare una procedura che, altrimenti, andrebbe ripetuta con frequenza giornaliera, viene messa a disposizione dal gestore del sistema una modalità di interfacciamento e recupero dati automatizzata.
Ad ogni variabile giornaliera rilevata (PA uso giornaliero, PA max giornaliero, CUI giornaliero, T esterna media giornaliera e PA cumulati) viene associata una matricola che identifica la tipologia di variabile registrata. La matricola inserita nel template deve corrispondere a quella utilizzata durante la fase di "creazione" del condominio all'interno della piattaforma (cfr. fig. 60), in modo da accoppiare le letture al solo dispositivo con lo stesso nome.

Cod_condominio		1=caricamento solo prima colonna 2= caricamento multi colonna 3= caricamento multiservizio								
475	MANUALE	1								
						RISC	ACS	AFS	RAFFR	
						1.1	1.2	1.3	1.4	
nr	dt_lettura	matricola	tipo	cod_errore	dt_errore	val_lettura	val_lettura	val_lettura	val_lettura	_raffr
1	15/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	1,166				
2	16/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,661				
3	17/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	1,044				
4	18/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,736				
5	19/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,669				
6	20/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,872				
7	21/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,624				
8	22/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,699				
9	23/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,716				
10	24/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,725				
11	25/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,937				
12	26/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	1,027				
13	27/10/2019	primo_PA_uso_gg	0	0	x x x	0,971				

Figura 59-Template Consumi Piano Primo

La figura seguente mostra la fase di registrazione del condominio, realizzabile solo disponendo delle credenziali di "Amministratore":

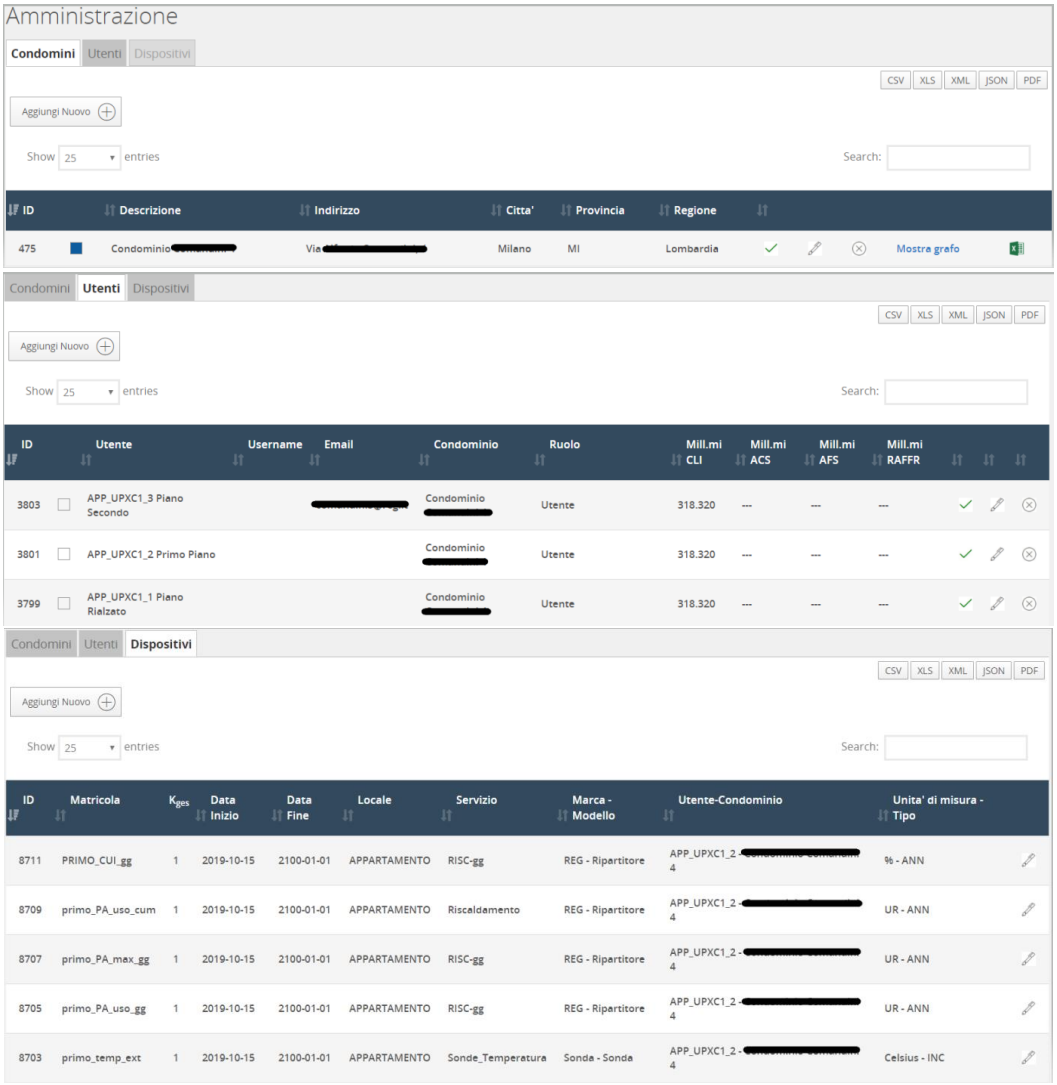


Figura 60-Fase di Creazione del Condominio [56]

Al termine della registrazione il condominio è visibile anche in forma di grafo. In questo modo è più semplice identificare il numero di utenze registrate e quali variabili vengono importate:

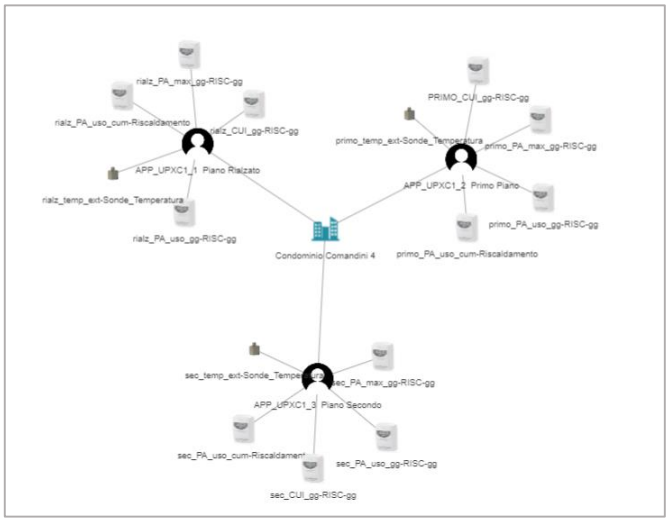


Figura 61-Grafo Condominio Milano [56]

Ultimata la fase di caricamento vengono mostrati in forma grafica i consumi registrati:

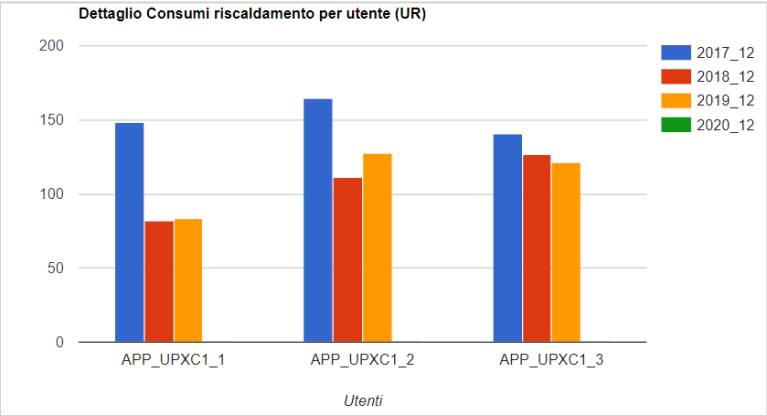


Figura 62-Confronto UR per stagioni caricate [56]

Il portale consente di visualizzare, per ogni utenza dello stabile, le UR consumate nel mese selezionato, effettuando un confronto tra le diverse stagioni di riscaldamento caricate. In questo caso, sono state registrate tutte le stagioni a partire dal 2017/2018 (prima stagione di utilizzo del Termo-Autonomo). Si noti come nei primi mesi di utilizzo del TAW (Dicembre 2017) il valore delle UR consumate sia complessivamente maggiore rispetto a quello registrato nelle annualità successive, in accordo ad un apprendimento sempre maggiore delle funzionalità del sistema.
Il sistema ordina i consumi anche in forma tabellare. Selezionando uno dei mesi in figura 63 (con consumo diverso da zero) si ha il dettaglio giornaliero delle UR consumate nell'appartamento (cfr. fig. 64):

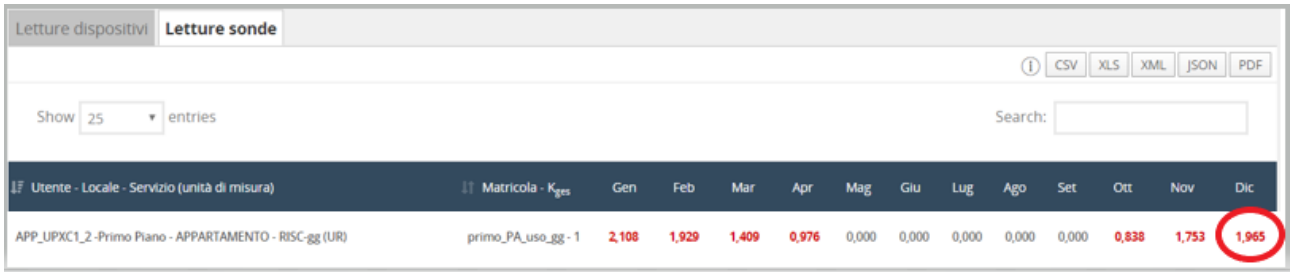


Figura 63-PA uso mensili Appartamento Secondo Piano (valore medio mensile) [56]

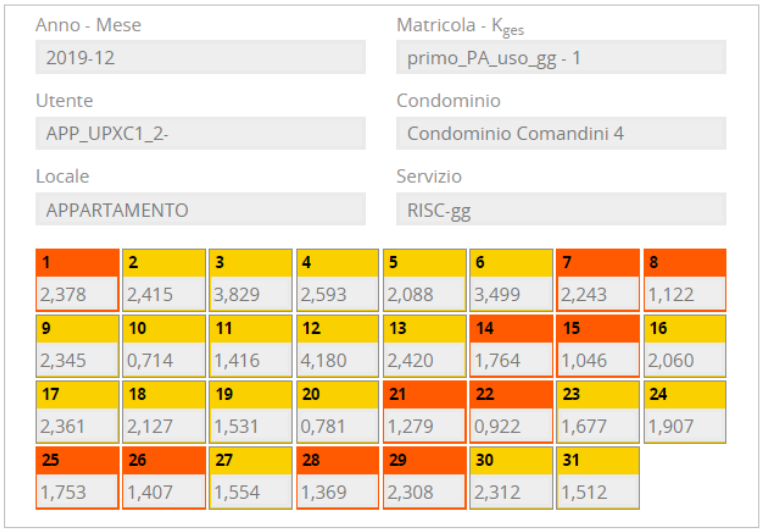


Figura 64-PA uso giornalieri mese Dicembre (Piano Primo) [56]

4.3.3. Indici Qualitativi Edificio Milano

Le evidenze sperimentali acquisite dall'attività di monitoraggio del condominio mettono in risalto alcune criticità risiedenti sia nella definizione preliminare degli indici qualitativi (effettuata dal paragrafo 4.2.2 in poi), sia nella strumentazione presente in campo.
Nel tentativo di elaborare un indice di consumo giornaliero che avesse caratteristiche simili a "IG_1" (equazione 25), si è reso necessario rivedere la procedura di valutazione del consumo di teorico di riferimento "Q_{th}". Infatti, non disponendo di una diagnosi energetica degli appartamenti abitati, si è preferito ricorrere ad una modalità di calcolo dell'indice basata direttamente sulla conoscenza delle Unità Calore (PA uso, in questo caso) registrate dal Termo-Autonomo a partire dalla stagione invernale 2017/2018. Inoltre, per questa tipologia di sistema di contabilizzazione, non è stato possibile risalire ad una ripartizione dei PA uso per i singoli locali riscaldati; si dispone unicamente di un dato calcolato a livello di appartamento complessivo.
Un altro aspetto da considerare è relativo alla temperatura percepita dalla sonda interna; come evidenziato in figura 55, il dato registrato è drammaticamente influenzato dalla presenza del corpo scaldante nelle immediate vicinanze del regolatore/servomotore, soprattutto nei periodi di accensione del radiatore. Sarebbe altrimenti inspiegabile, escludendo il malfunzionamento del sistema di regolazione, la presenza di una temperatura ambientale pari a 25°C all'interno del locale riscaldato dal "Radiatore 2", avendo impostato un set-point pari a 22°C. Questo preclude inevitabilmente la possibilità di calcolare l'indice orario di temperatura "IG_2", poiché le rilevazioni della sonda, pur corrette, non sono rappresentative del valore medio di temperatura dell'aria interna.
L'alternativa esplorata è stata allora quella di intervenire direttamente sul programma di riscaldamento impostato dall'utenza, sfruttando la possibilità di effettuare delle modifiche allo stesso tramite il software di tele-gestione. In questo modo, invece di valutare il risparmio energetico derivante dall'introduzione di un parametro qualitativo come "IG_2", è stata considerata come causa primaria di un possibile "sovra-consumo" la scelta degli inquilini di utilizzare un programma giornaliero finalizzato a soddisfare più le loro esigenze di comfort che una richiesta basata sull'effettivo utilizzo dei locali.
Di comune accordo con gli utenti dell'appartamento, indicato con il nome "Piano Rialzato", per una durata di cinque giorni sono stati impostati i programmi evidenziati in rosso nella figura seguente:

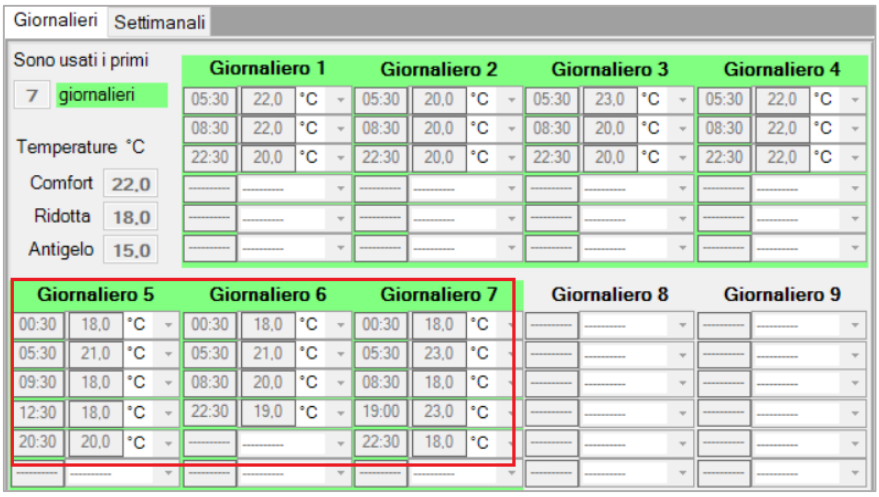


Figura 65-Nuovi Programmi Giornalieri "Piano Rialzato"

L'appartamento è diviso in tre zone termiche:

- Il programma "Giornaliero 5" si applica alla zona "Camere da Letto" e sostituisce il programma "Giornaliero 2". L'utilizzo di una temperatura di comfort è limitato alle prime ore

del mattino (21°C) e alle ultime ore della sera (20°C), contro i 20°C giornalieri scelti inizialmente dall'utenza;

- Il programma "Giornaliero 6" è utilizzato per la zona "Cucina/Soggiorno/Studio", mediamente più occupata nell'arco della giornata, e sostituisce il programma "Giornaliero 1";
- Il programma "Giornaliero 7" si applica alla zona "Bagni", che, al pari delle camere da letto, viene riscaldata a 23°C soltanto per le prime ore del mattino e quelle serali.

Si specifica che i programmi scelti sono il risultato di un compromesso tra uno scenario che prevede la modulazione "ottimale" della temperatura, scenario tipico di un utente sensibile al risparmio energetico, e le attuali abitudini degli inquilini.
La valutazione dei consumi (ed eventuali risparmi) registrati con i programmi suddetti è subordinata alla definizione del nuovo indice di consumo.
L'indice giornaliero è calcolato a partire dalla definizione del consumo di riferimento, la cui valutazione è condotta utilizzando la procedura seguente:

- Vengono sommati i PA uso giornalieri registrati durante la stagione 2018/19 nell'appartamento "Piano Rialzato";

$$PA_{tot} = \sum_i PA_i \qquad (32)$$

- "PA_{tot}" viene diviso per la sommatoria dei gradi giorno misurati nella stagione 2018/19, "GG_{tot}", in modo da identificare un riferimento che esprima quante unità di ripartizione vengono utilizzate per ogni grado giorno misurato;
- Il parametro di confronto per la valutazione del risparmio è calcolato come:

$$PA_{rif,i} = \frac{PA_{tot}}{GG_{tot}} * GG_i \qquad (33)$$

Dove "GG_i" sono i gradi giorno misurati nella i-esima giornata della stagione 2019/2020.

L'ipotesi di utilizzare un riferimento costruito sulla base del consumo della passata stagione è da considerarsi valida poiché, in base a quanto dimostrato al paragrafo 3.3, la stagione invernale 2018/2019, pur caratterizzata da un grado di utilizzo dei locali complessivamente simile a quello presente, ha fatto registrare il risparmio energetico maggiore da quando è stato introdotto il sistema Termo-Autonomo. Si tratta quindi di un riferimento tarato su un comportamento "virtuoso" dell'utenza.
L'indice di consumo giornaliero è calcolato utilizzando la relazione seguente:

$$IG_i = \frac{PA_i - PA_{rif_i}}{PA_{rif,i}} \ \% \qquad (34)$$

Dove:

- IG_i: Indice Giornaliero riferito all'i-esima giornata della presente stagione 2019/2020;
- $PA_{rif,i}$: Punti Anno di riferimento per la i-esima giornata, calcolati utilizzando l'equazione 33;
- PA_i: Punti Anno misurati nella stessa giornata.

Si osservi come la definizione proposta per l'indice di consumo giornaliero sia del tutto analoga a quella fornita per "IG_1" (equazione 25), utilizzando le UR al posto dell'energia espressa in kWh.

I risultati ottenuti con il calcolo di "IG_i", sintetizzati nel grafico seguente, meritano un ulteriore approfondimento:

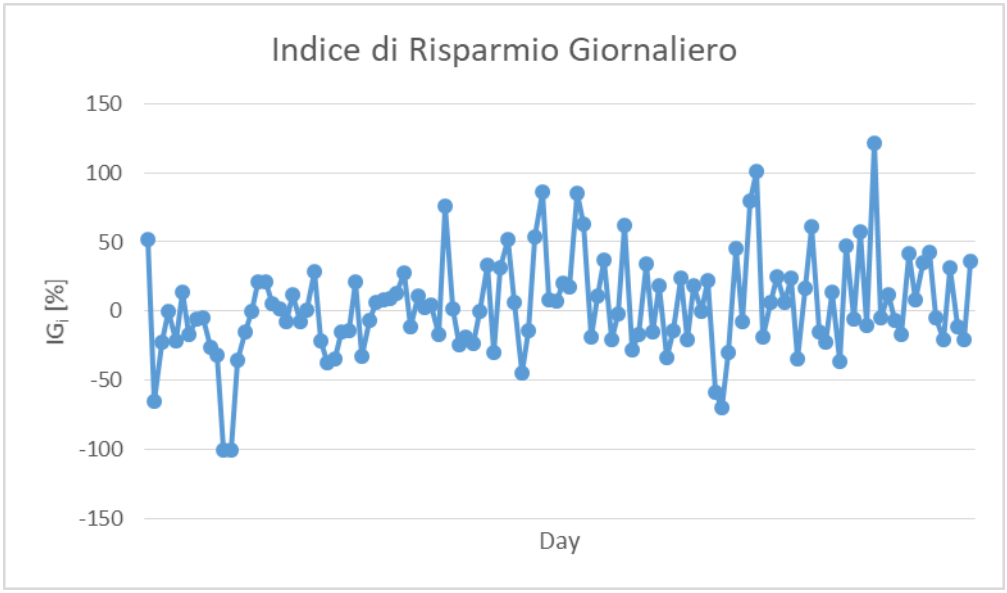


Figura 66-Andamento Indice di Risparmio Giornaliero stagione 2019/2020 (Piano Rialzato)

Come visto, l'andamento dell'indice giornaliero è estremamente variabile se calcolato sulla base della singola giornata. La distribuzione dei punti all'interno del grafico, rappresentativi del risparmio conseguito rispetto al riferimento (se di ordinata negativa) o del sovra-consumo (se di ordinata positiva), sembra essere influenzata più dalla forte aleatorietà delle condizioni esterne che dalla reale azione di regolazione attribuibile all'utenza.
Va evidenziato che un'informazione di questo genere, pur presentata in forma semplificata attraverso l'utilizzo dell'info-grafica in Tabella 4, può dar luogo a opinioni contrastanti sui reali effetti determinati dall'azione di regolazione svolta dall'utenza. Si osservi ad esempio come, sebbene durante il periodo in esame il programma di riscaldamento non sia stato modificato rispetto alle "schedules" in figura 56 (eccezion fatta per una completa chiusura dei regolatori nelle giornate caratterizzate da un indice pari a -100%), si registrino valori negativi dell'indice immediatamente seguiti da valori positivi. Ciò può essere spiegato solamente attribuendo un ruolo predominante a fattori quali apporti solari e apporti interni gratuiti, estremamente variabili tra una giornata e l'altra.
La forte incertezza associata ai risultati in figura 66, inoltre, rende di difficile interpretazione l'impatto sul risparmio energetico causato dalle modifiche dei programmi giornalieri.
Si propone allora una nuova definizione dell'indice giornaliero, applicabile sia al condominio esaminato sia, più in generale, a tutti gli edifici dotati di sistema Termo-Autonomo. La sua valutazione è basata sui valori giornalieri di CUI e CUC, rispettivamente coefficiente d'uso individuale e condominiale, entrambi disponibili tramite tele-lettura del sistema. Riprendendo le definizioni date nel paragrafo 2.1.4, si ricorda che:

- Il CUI, per singolo appartamento, è definito come:

$$CUI = \frac{PA_{uso}}{PA_{max}}\% \qquad (35)$$

  Dove "PA_{uso}" e "PA_{max}" rappresentano rispettivamente i punti anno reali e massimi, misurati con frequenza giornaliera;
- Il CUC, media del coefficiente d'uso su tutto il condominio, è definito come:

$$CUC = \frac{\sum_n PA_{uso}}{\sum_n PA_{max}}\% \qquad (36)$$

Sommatoria estesa a tutti gli "n" appartamenti dello stabile dei "PA_{uso}" e "PA_{max}" individuali.

La definizione di un indice basato sul coefficiente di utilizzo del sistema di termoregolazione si fonda sulle seguenti premesse [62]:

- La componente involontaria "gratuita", combinazione degli apporti termici interni e dell'energia derivante dall'irraggiamento solare, ha in media un'incidenza del 30% rispetto al fabbisogno di riscaldamento complessivo dell'appartamento. Ciò può essere rilevato, ad esempio, all'inizio della stagione di riscaldamento, quando l'impianto è spento e si registra una temperatura media interna superiore rispetto a quella esterna di circa 4°C. Il risultato è frutto di una stima secondo cui l'aumento di 1°C della temperatura interna, a carico del riscaldamento, incide per circa il 7% sull'aumento dei consumi;
- La componente involontaria "non gratuita", responsabile del riscaldamento ambientale per effetto delle perdite di distribuzione, si stima che abbia un peso pari a circa il 30% sul fabbisogno di riscaldamento complessivo;

Ne consegue che, se i terminali di impianto vengono dimensionati in base alla potenza di "picco", calcolata non considerando le componenti di riscaldamento involontarie, i corpi scaldanti devono funzionare, in media, erogando circa il 40% della loro potenza nominale (o valori compresi nell'intervallo tra il 30 e il 50%)[21].

Un funzionamento dei corpi scaldanti entro l'intervallo indicato si traduce, utilizzando la terminologia caratteristica del TAW, in un CUI medio di riferimento intorno al 30 ÷ 50%. Si precisa, infatti, che il CUI rappresenta a tutti gli effetti un fattore di utilizzo della termoregolazione, rapportando le unità calore conteggiate "realmente" (utilizzando una modulazione di tipo ON/OFF) a quelle teoricamente misurate in uno scenario in cui le valvole termostatiche sono sempre aperte.

Fatte queste considerazioni, è possibile mettere a disposizione dell'utenza due nuovi indici giornalieri in sostituzione dei precedenti "IG_1" e "IG_2", calcolati a livello di appartamento complessivo. Questi vengono definiti come:

$$IG_1^* = \frac{CUI_{medio}^* - CUI_{rif}}{CUI_{rif}}\% \qquad (37)$$

$$IG_2^* = \frac{CUI_{medio}^* - CUC_{medio}^*}{CUC_{medio}^*}\% \qquad (38)$$

Dove:

- CUI_{medio}^*: Media "scorrevole" dei CUI individuali giornalieri. La media scorrevole viene calcolata considerando tutti i CUI giornalieri fino al valore registrato nella giornata attuale. Ad esempio, se il riscaldamento è attivo da sette giorni, il "CUI_{medio}^*" tiene conto della media di tutti i CUI giornalieri fino alla settima giornata;
- CUI_{rif}: Coefficiente d'uso individuale di riferimento. In base a quanto detto in precedenza, si è scelto di utilizzare un riferimento pari al 30%, tenuto conto che il condominio di Milano viene utilizzato come "prima casa". Qualora si fosse trattato, ad esempio, di una seconda casa, il CUI di riferimento sarebbe stato inferiore, compreso tra il 15 e il 20%, per via di un utilizzo mediamente inferiore degli ambienti;

[21] Le stime sono eseguite su appartamenti tipicamente impiegati come prime case, con un utilizzo "quasi costante" dei locali nell'arco di tutta la stagione invernale

- CUC^*_{medio}: Coefficiente d'uso Condominiale medio. Anche questo viene calcolato come "media scorrevole" sulla base dei valori giornalieri del CUC fino alla giornata presente.

La scelta di utilizzare una media "scorrevole", che si aggiorna al termine di ogni giornata, serve a valorizzare il comportamento "medio" dell'utenza, superando la criticità esposta in fase definizione di "IG_i" secondo cui l'indice risultava troppo influenzato dalle condizioni al contorno (apporti solari e interni gratuiti) della singola giornata.
Attraverso "IG_1^*" l'utente finale viene confrontato con un riferimento "fittizio", scelto tenendo conto della destinazione d'uso dell'edificio (valori più bassi del 30% saranno presi in considerazione per edifici quali seconde case o piccoli appartamenti abitati da una sola persona). Un valore più basso rispetto a quello di riferimento dev'essere valorizzato, in quanto sintomatico di un buon utilizzo della termoregolazione (impianto acceso per meno tempo rispetto all'uso registrato in edifici con destinazione d'uso analoga).
Per quanto concerne "IG_2^*", quest'ultimo consente di effettuare un confronto tra l'utilizzo individuale del sistema, relativo al singolo appartamento, e un comportamento medio registrato a livello condominiale. Rispetto all'indice precedente, quest'ultimo considera un riferimento "reale", calcolato a partire dall'effettivo utilizzo della regolazione in tutto l'edificio. A livello concettuale, l'indice si avvicina molto alla definizione di "IC" (cfr. par. 4.2.2.4.), poiché anche in questo caso si consente al singolo utente di valutare la propria gestione in uno scenario di "competizione" con gli altri inquilini dello stesso edificio, identificandolo come "l'inquilino più (o meno) dispendioso".
Il riscontro positivo ottenuto tramite lettura di "IG_1^*" è dunque da premiare, ma va completato dall'indicazione fornita tramite "IG_2^*".
Ancora una volta, si propone una possibile visualizzazione grafica dei due indici, da applicare al condominio in questione e finalizzata a semplificare l'interpretazione per l'utente medio. Si precisa che per l'indice "IG_2^*" verrà indicato il "piazzamento" del singolo inquilino (1°, 2°, 3°, etc. in relazione al proprio valore di CUI medio) in un'ipotetica classifica che disporrà, dal primo all'ultimo, utenti con CUI progressivamente crescenti.

$\boldsymbol{IG_1^* > +20\%}$	☹
$\boldsymbol{-20\% \leq IG_1^* \leq +20\%}$	😐
$\boldsymbol{IG_1^* < -20\%}$	☺

Tabella 6-Info-Grafica IG_1^*

4.3.4. Risultati Indici

A partire dai dati raccolti tramite il software di tele-gestione – e caricati all'interno della piattaforma – è possibile visualizzare l'andamento temporale degli indici giornalieri per i singoli appartamenti del condominio. Momentaneamente, il calcolo degli indici è stato condotto offline (Excel); in una fase successiva, sarà possibile visualizzarli direttamente sul portale Web. Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti.

Piano Rialzato

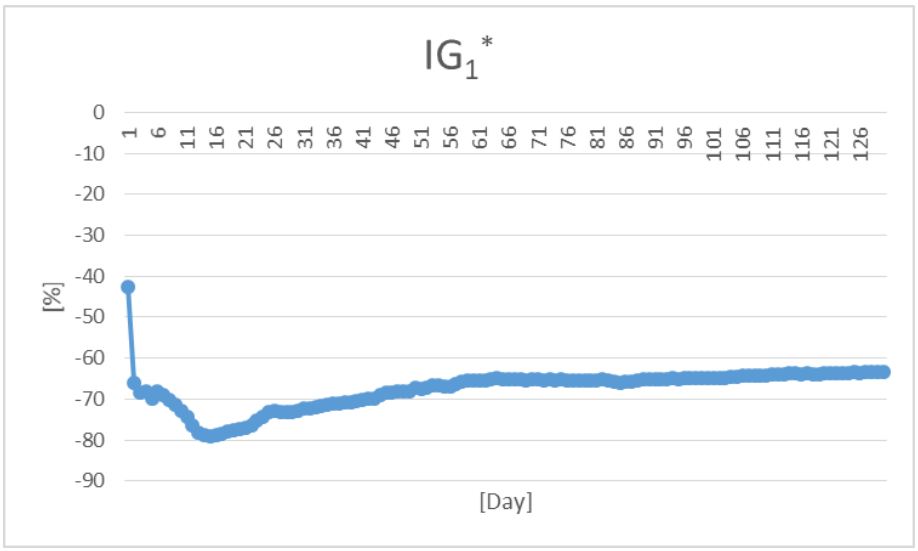


Figura 67- IG_1^* Piano Rialzato con info-grafica (a dx.)

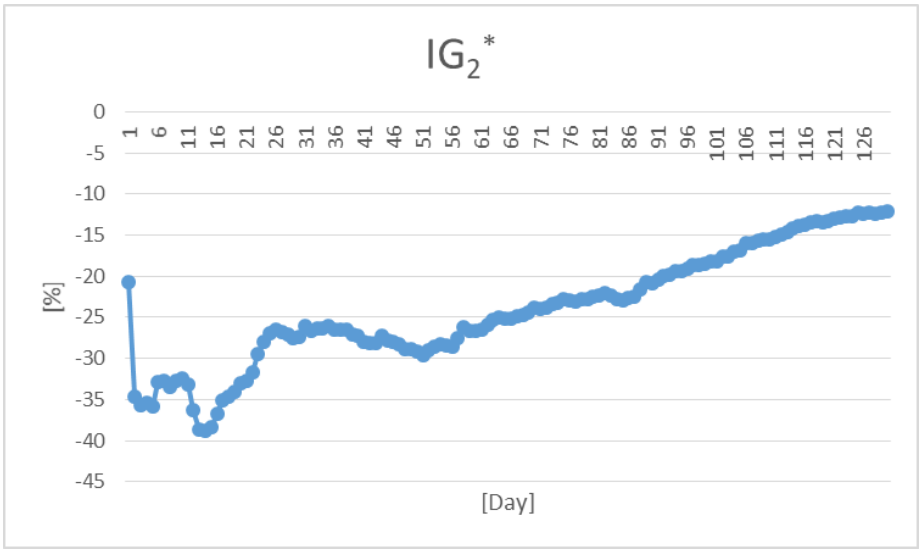


Figura 68- IG_2^* Piano Rialzato con info-grafica (a dx.)

Piano Primo

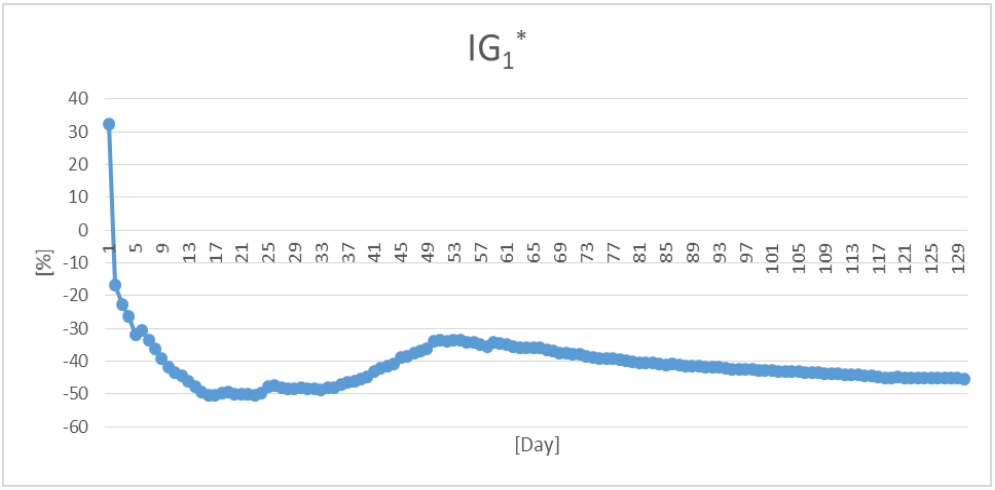


Figura 69 - IG_1^* Piano Primo con info-grafica (a dx.)

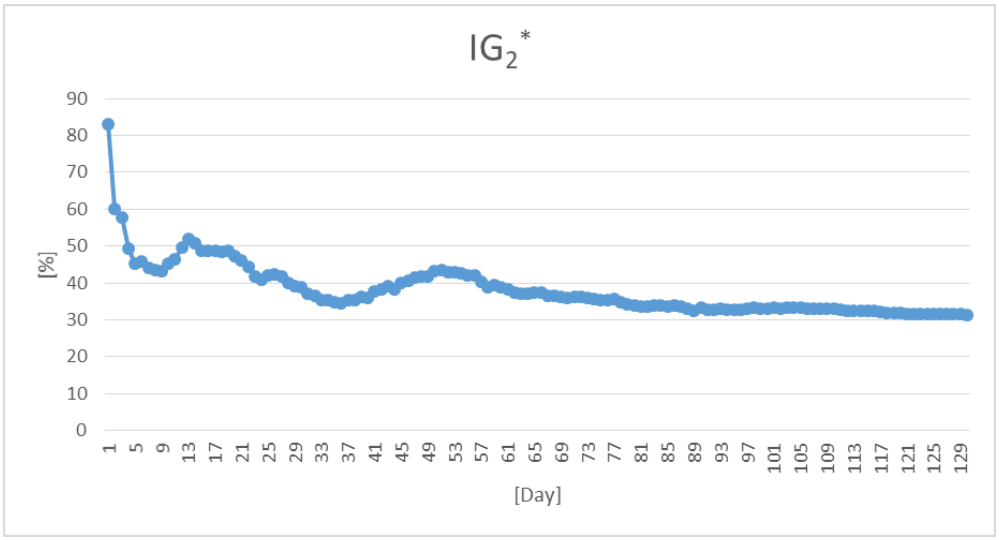


Figura 70 - IG_2^* Piano Primo con info-grafica (a dx.)

Piano Secondo

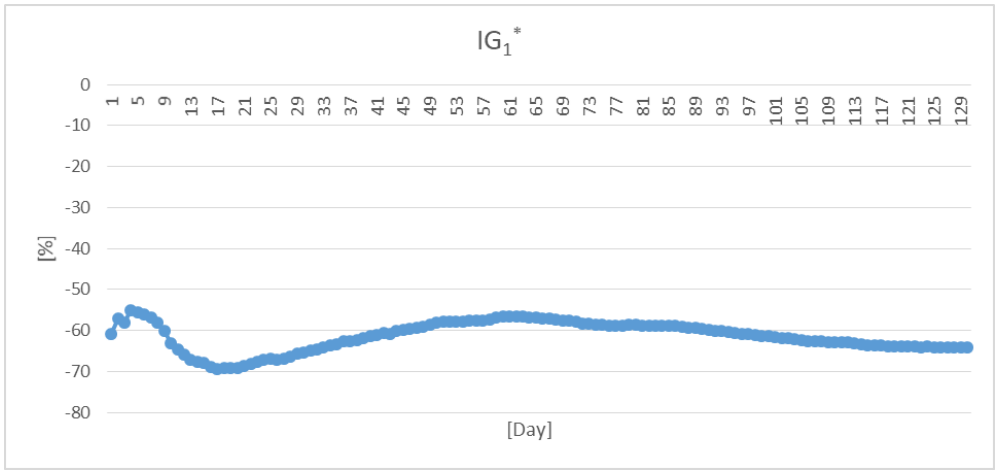
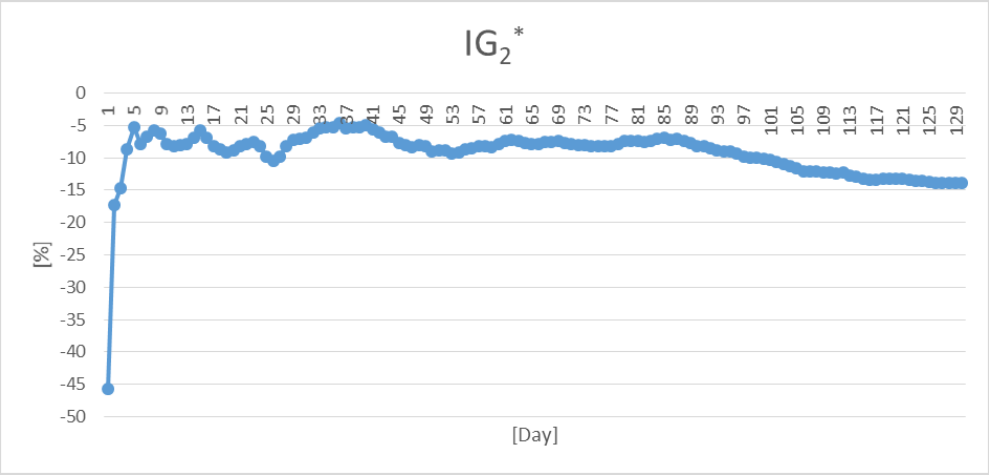


Figura 71 -- IG_1^* Piano Secondo con info-grafica (a dx.)



#1

Figura 72 - IG_2^* Piano Secondo con info-grafica (a dx.)

Commenti

I grafici mostrano l'andamento temporale degli indici giornalieri nei tre appartamenti del condominio, evidenziandone alcuni aspetti interessanti. Tutte le utenze si distinguono per un comportamento complessivamente virtuoso rispetto al $CUI_{rif} = 30\%$, scelto come rappresentativo dell'utilizzo tipico della regolazione per appartamenti "normalmente occupati".
Va evidenziato che un simile risultato non può essere unicamente ricondotto ad una buona gestione del sistema; il fatto che si tratti di appartamenti con un numero di radiatori piuttosto elevato (8 radiatori per appartamento) suggerisce come l'apertura di un singolo regolatore abbia un'incidenza piuttosto bassa (di circa il 13%) sul CUI complessivo, caratterizzando così un CUI mediamente inferiore rispetto al riferimento. Inoltre, un CUC pari al 12% (valore ampiamente al di sotto rispetto ad una tipica prima casa) può evidenziare la necessità di abbassare la curva di regolazione climatica in centrale termica, in modo da limitare le dispersioni sul circuito di distribuzione, sfruttando una generazione con rendimento maggiore da parte della caldaia a condensazione. Un utilizzo ridotto dei terminali scaldanti, rispetto ad un funzionamento con valvole sempre aperte, è confermato anche dalla bassa percentuale di attuatori aperti, che si mantiene in media intorno al 20% (cfr fig. 54 curva celeste).
Sebbene un indice basato unicamente sul coefficiente d'uso individuale e condominiale non possa essere ritenuto esaustivo, mancando ancora l'informazione sulla temperatura misurata negli ambienti scaldati, mette in luce quali sono gli appartamenti del condominio che utilizzano il riscaldamento in misura maggiore: si osservi come l'indice "IG_2^*" relativo al "piano primo" si mantenga a valori superiori (circa il 40% in più) rispetto alla media condominiale. Questo è evidenziato anche tramite indicazione in rosso posta a fianco della fig. 70, che segnala come l'utente sia "ultimo" rispetto ai due restanti.
Per quanto concerne gli alloggi indicati come "Piano Rialzato" e "Piano Secondo", si noti come il loro andamento sia complessivamente indicativo di un comportamento meno "dispendioso", rispetto al CUC medio di riferimento.
Una caratteristica tipica dei grafici sovrastanti è di avere un andamento sempre "meno variabile" da sinistra verso destra. Ciò è dovuto all'utilizzo di una media scorrevole, che "si aggiorna" al termine di ogni giornata di riscaldamento. Questa, infatti, tiene conto di un numero sempre maggiore di CUI esaminati, al fine di elaborare un "trend" medio per appartamento.
In questa fase si ritiene comunque più informativa l'indicazione ricevuta tramite lettura di "IG_2^*", visto che l'utenza è tipicamente più interessata a conoscere il suo comportando rispetto agli alloggi

"vicini" piuttosto che ad un riferimento "imprecisato", scelto sulla base della destinazione d'uso dell'edificio.
Si precisa che "IG_2^*" informa il singolo inquilino mostrandogli soltanto il suo "piazzamento" nella classifica generale. L'indice viene colorato di rosso, o verde, se l'utente si trova al di sopra, o al di sotto, del CUC medio. Non verrà reso noto, se non all'amministratore, il risultato corrispondente a tutti gli appartamenti restanti.

4.4. Valutazione Economica Sistema "Smart"

L'ultima fase dello studio consiste nell'elaborazione di un'analisi "costi-benifici" associata all'integrazione della tecnologia "smart" ad alcune tipologie di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione tradizionali.
Vengono presi in esame tre edifici del frusinate, con sede ad Anagni e Ceprano, e il condominio di Milano, tutti attualmente provvisti di sistema di contabilizzazione indiretta. Per i primi tre edifici, ENEA (in collaborazione con l'Università di Cassino) ha già analizzato l'impatto sui consumi energetici derivante dall'introduzione dei sistemi di termoregolazione "tradizionali" [49]. Tuttavia, si tratta di una tecnologia che non consente ancora di disporre di un adeguato meccanismo informativo per l'utenza finale.
Nell'ottica di sviluppare un sistema che abbia come priorità quella di sensibilizzare gli inquilini sui rispettivi consumi, evidenziando (attraverso gli indici di qualità dei paragrafi precedenti) la possibilità di migliorare la gestione della termoregolazione, l'analisi prevede il retrofit degli attuali sistemi attraverso i seguenti interventi:

- Introduzione della piattaforma IoT (descritta nei paragrafi precedenti) per un'acquisizione automatica dei dati del condominio registrato. L'accesso al portale garantisce all'utente finale la possibilità di visualizzare il proprio consumo in tempo reale e, soprattutto, di consultare gli indici qualitativi, le cui definizioni e logiche di funzionamento sono esposte ai paragrafi 4.2.2 e 4.3.3;
- Installazione di sistemi hardware negli edifici, quali sensori di temperatura e componenti per l'acquisizione e trasferimento dati via "wireless".

La struttura da integrare si adatta a ciascuna delle configurazioni tecnologiche esaminate.
L'analisi economica prevede la valutazione dei soli "extra-costi" associati all'utilizzo dei nuovi componenti. Se, ad esempio, il condominio sostiene già un costo di lettura delle unità di ripartizione individuali, la valutazione prenderà in esame solamente l'incremento del costo provocato dalla lettura aggiuntiva della temperatura ambiente, o di una frequenza di rilevazione più alta (da due volte l'anno a una volta al giorno). Di conseguenza, sono esclusi dall'analisi i costi associati all'installazione di sistemi di termoregolazione o ripartizione dei consumi. In nessuno dei casi esaminati, infatti, risulta necessaria la sostituzione degli stessi, poiché già compatibili con un tipo di lettura effettuabile via radio, previa installazione di apposita centralina/gateway di comunicazione GSM (ove non già esistente).
I costi per l'utilizzo/gestione della piattaforma sono stati stabiliti a partire da un preventivo elaborato dalla software house che amministra il portale Web. Il costo dei sensori di temperatura è il risultato di una ricerca tra le differenti soluzioni proposte sul mercato.
Il VAN, Valore Attuale Netto, rappresenta lo strumento di valutazione utilizzato per stabilire la bontà dell'investimento iniziale. Questo considera un periodo di ammortamento pari a 10 anni.
Il calcolo è stato condotto utilizzando il software TIHM di ENEA, utile per l'analisi tecnico-economica dei sistemi di contabilizzazione. Questo strumento richiede la definizione preliminare di

alcuni parametri caratteristici dell'edificio (superficie utile riscaldata, numero di radiatori per appartamento, consumo di combustibile medio annuo, etc.).
Nei paragrafi successivi sono presentate le strutture progettate per ciascun edificio esaminato e i risultati delle rispettive valutazioni economiche.

4.4.1. Sistema 1 – Anagni 18 C

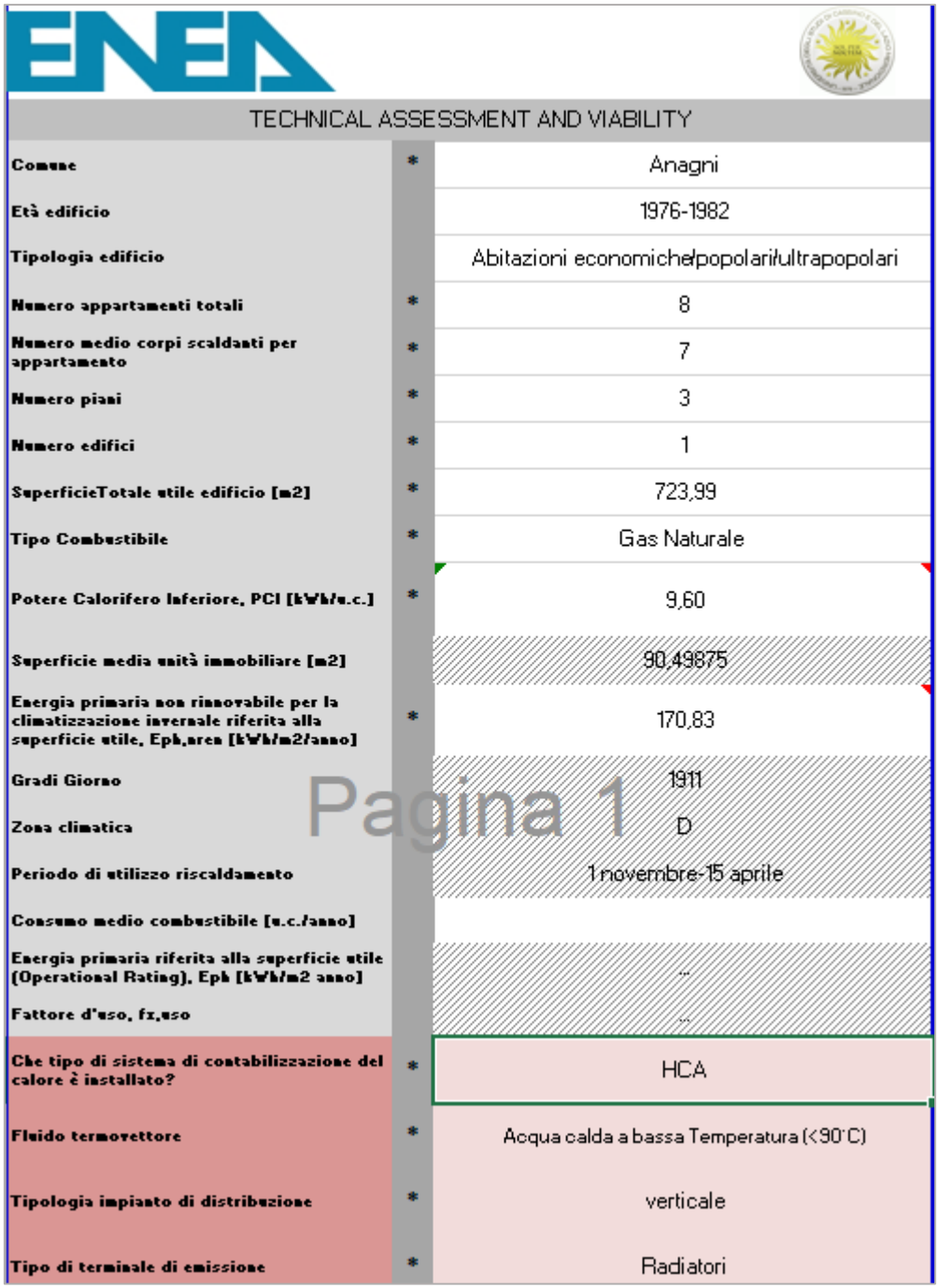
L'edificio è costituito da 9 appartamenti, disposti in due blocchi collegati, come mostrato in figura:

Figura 73-Edificio Anagni 18 C [49]

Ciascun appartamento è dotato di 7 radiatori, escluso un interno con 8 radiatori.
Attualmente l'edificio presenta un sistema di contabilizzazione con ripartitori di calore (UNI EN 834) disponibili alla lettura radio. La termoregolazione è effettuata per mezzo di valvole termostatiche a regolazione meccanica. Si segnala, inoltre, la presenza di 2 data-logger di temperatura installati per ciascun appartamento (18 complessivi), eventualmente integrabili al sistema in fase di progetto.
La struttura del sistema di termoregolazione e contabilizzazione, comprensivo di unità per il monitoraggio da remoto, è presentata nel seguito:

- 64 sistemi valvola termostatica + ripartitore (già installati su ciascun radiatore)**.** Il ripartitore è dotato di interfaccia radio per poter comunicare le letture delle unità calore a remoto. La frequenza delle letture delle UR di ciascun ripartitore deve essere giornaliera, al fine di stimare i consumi associati a ciascun corpo scaldante in tempo "quasi reale";
- 1 Contatore di calore (Heat Meter già installato nel locale caldaia) per la misura diretta dei consumi dei kWh termici di riscaldamento associati all'intero condominio. Le letture sono reperibili via radio con frequenza di rilevazione giornaliera;
- 64 sensori di temperatura interna (da installare, uno per ogni ambiente climatizzato) che devono consentire la rilevazione della temperatura con frequenza oraria;
- 1 sensore di temperatura esterna (già installato) con frequenza oraria di lettura del dato di temperatura;
- 1 ripetitore (da installare) sufficiente ad una copertura di tutti e 3 i piani dell'edificio;
- 1 Gateway GSM (da installare) per la tele-lettura dei dati di consumo da postazione remota;

Si allegano i risultati dell'analisi economica condotta con software TIHM (ENEA):



TECHNICAL ASSESSMENT AND VIABILITY

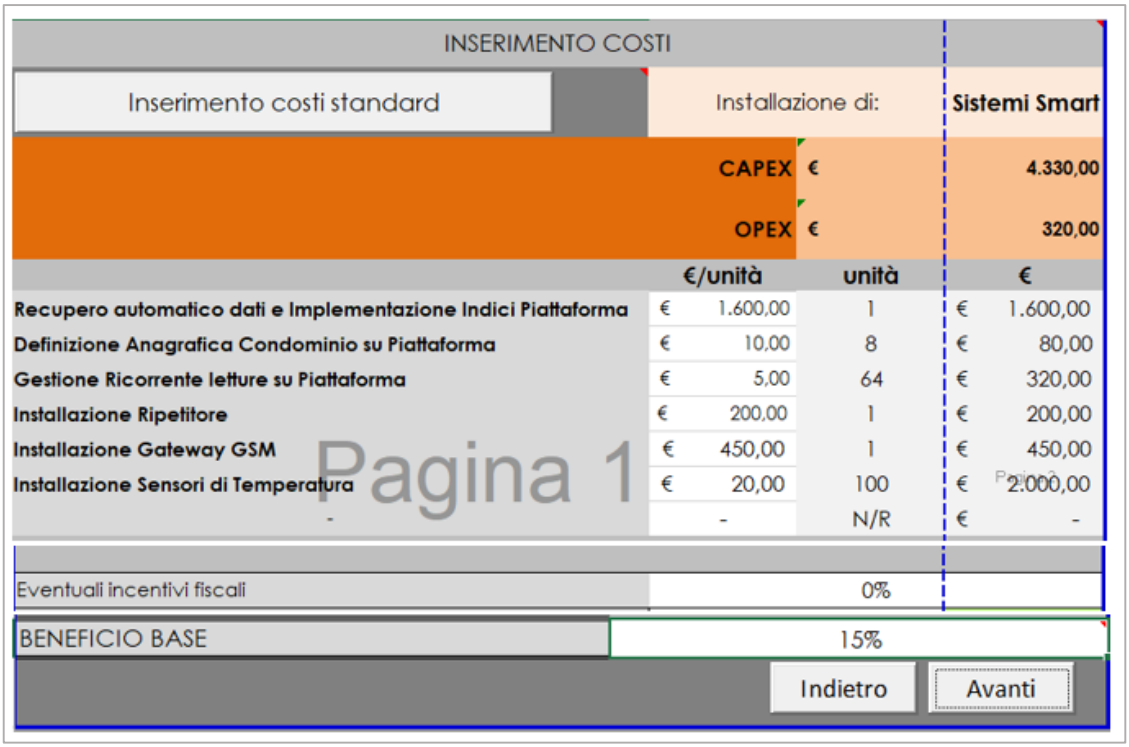
Comune	*	Anagni
Età edificio		1976-1982
Tipologia edificio		Abitazioni economiche/popolari/ultrapopolari
Numero appartamenti totali	*	8
Numero medio corpi scaldanti per appartamento	*	7
Numero piani	*	3
Numero edifici	*	1
SuperficieTotale utile edificio [m2]	*	723,99
Tipo Combustibile	*	Gas Naturale
Potere Calorifero Inferiore, PCI [kWh/s.c.]	*	9,60
Superficie media unità immobiliare [m2]		90,49875
Energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale riferita alla superficie utile, Epk,area [kWh/m2/anno]	*	170,83
Gradi Giorno		1911
Zona climatica		D
Periodo di utilizzo riscaldamento		1 novembre-15 aprile
Consumo medio combustibile [s.c./anno]		
Energia primaria riferita alla superficie utile (Operational Rating), Epk [kWh/m2 anno]		...
Fattore d'uso, fx,uso		...
Che tipo di sistema di contabilizzazione del calore è installato?	*	HCA
Fluido termovettore	*	Acqua calda a bassa Temperatura (<90°C)
Tipologia impianto di distribuzione	*	verticale
Tipo di terminale di emissione	*	Radiatori

Pagina 1

Figura 74-Informazioni Generali Edificio Anagni 18 C

I campi contrassegnati con asterisco sono obbligatori. L'energia primaria non rinnovabile viene ricavata dalla certificazione energetica condotta sull'edificio (APE).

Come evidenziato dalla figura seguente, gli interventi di retrofit previsti per il sistema di contabilizzazione non possono essere oggetto di incentivazione fiscale, in quanto non ascrivibili all'interno del "Bonus Casa" che consente di detrarre il 50% delle spese sostenute per tutti gli interventi di ristrutturazione volti a ridurre il consumo energetico dell'edificio. Il beneficio stimato, effetto dell'attività di retrofit proposta, è pari al 15%. Infatti, un sistema tradizionale con valvola termostatica a comando manuale offre un buon margine di incremento dei risparmi complessivi di combustibile, se accoppiato ad un sistema di feedback basato sul calcolo dell'indice di temperatura orario "IG_2" e di consumo giornaliero "IG_1".



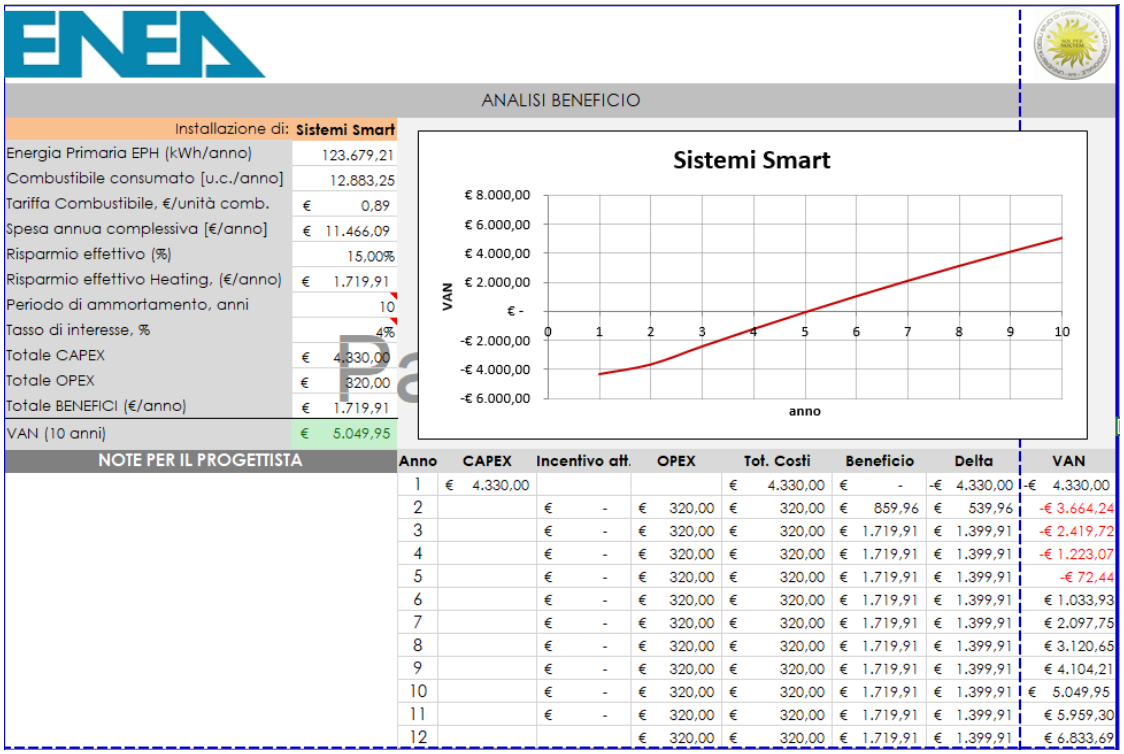
INSERIMENTO COSTI

Inserimento costi standard		Installazione di:	Sistemi Smart
	CAPEX €		4.330,00
	OPEX €		320,00
	€/unità	unità	€
Recupero automatico dati e Implementazione Indici Piattaforma	€ 1.600,00	1	€ 1.600,00
Definizione Anagrafica Condominio su Piattaforma	€ 10,00	8	€ 80,00
Gestione Ricorrente letture su Piattaforma	€ 5,00	64	€ 320,00
Installazione Ripetitore	€ 200,00	1	€ 200,00
Installazione Gateway GSM	€ 450,00	1	€ 450,00
Installazione Sensori di Temperatura	€ 20,00	100	€ 2.000,00
-	-	N/R	€ -
Eventuali incentivi fiscali		0%	
BENEFICIO BASE		15%	

Indietro Avanti

Pagina 1

Figura 75-Inserimento Costi Anagni 18 C



ANALISI BENEFICIO

Installazione di:	Sistemi Smart
Energia Primaria EPH (kWh/anno)	123.679,21
Combustibile consumato [u.c./anno]	12.883,25
Tariffa Combustibile, €/unità comb.	€ 0,89
Spesa annua complessiva [€/anno]	€ 11.466,09
Risparmio effettivo (%)	15,00%
Risparmio effettivo Heating, (€/anno)	€ 1.719,91
Periodo di ammortamento, anni	10
Tasso di interesse, %	4%
Totale CAPEX	€ 4.330,00
Totale OPEX	€ 320,00
Totale BENEFICI (€/anno)	€ 1.719,91
VAN (10 anni)	€ 5.049,95

NOTE PER IL PROGETTISTA

Anno	CAPEX	Incentivo att.	OPEX	Tot. Costi	Beneficio	Delta	VAN
1	€ 4.330,00			€ 4.330,00	€ -	-€ 4.330,00	-€ 4.330,00
2		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 859,96	€ 539,96	-€ 3.664,24
3		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	-€ 2.419,72
4		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	-€ 1.223,07
5		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	-€ 72,44
6		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	€ 1.033,93
7		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	€ 2.097,75
8		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	€ 3.120,65
9		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	€ 4.104,21
10		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	€ 5.049,95
11		€ -	€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	€ 5.959,30
12			€ 320,00	€ 320,00	€ 1.719,91	€ 1.399,91	€ 6.833,69

Figura 76-VAN Anagni 18 C

L'investimento ha un rientro previsto entro il sesto anno dal retrofit. La componente dei costi operativi è rappresentata dal servizio di lettura automatico, da svolgere con la frequenza richiesta durante tutto il periodo di riscaldamento annuale.

Come si nota, il beneficio ipotizzato per il primo anno dall'intervento risulta inferiore rispetto al corrispondente valore negli anni successivi. Questa scelta ha l'obiettivo di simulare la poca familiarità dell'utenza con il nuovo sistema a disposizione, soprattutto durante la prima fase di vita dello stesso.

4.4.2. Sistema 2 – Anagni 18 B

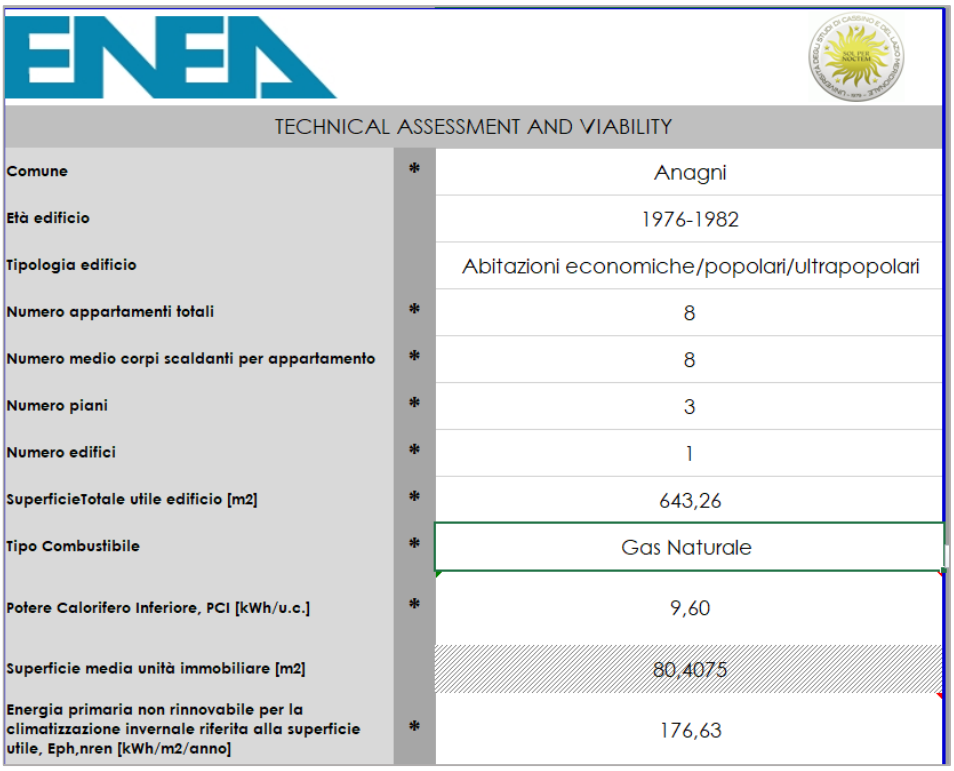
L'edificio è costituito da 8 appartamenti, disposti in due blocchi collegati, come mostrato in figura:

Figura 77-Edificio Anagni 18 B [49]

Ciascun appartamento è dotato di 8 radiatori. Attualmente l'edificio presenta un sistema di contabilizzazione con totalizzatori compensati del tipo ITC-TC (UNI 11388) disponibili alla lettura via radio. La struttura del sistema di termoregolazione e contabilizzazione, comprensivo di unità per il monitoraggio da remoto, è presentata nel seguito:

- 64 sistemi ITC-TC (già installati su ciascun radiatore). La frequenza delle letture delle UR di ciascun radiatore deve essere giornaliera, al fine di stimare i consumi associati a ciascun corpo scaldante in tempo "quasi reale";
- 1 Contatore di calore (Heat Meter già installato nel locale caldaia) per la misura diretta dei consumi dei kWh termici di riscaldamento associati all'intero condominio. Le letture sono reperibili via radio con frequenza di rilevazione giornaliera;
- 64 sensori di temperatura interna (da installare, uno per ogni ambiente climatizzato) che devono consentire la rilevazione della temperatura con frequenza oraria;
- 1 sensore di temperatura esterna (già installato) con frequenza oraria di lettura del dato di temperatura;
- 1 ripetitore (da installare) sufficiente ad una copertura di tutti e 3 i piani dell'edificio;
- 1 Gateway GSM (da installare) per la tele-lettura dei dati di consumo da postazione remota;

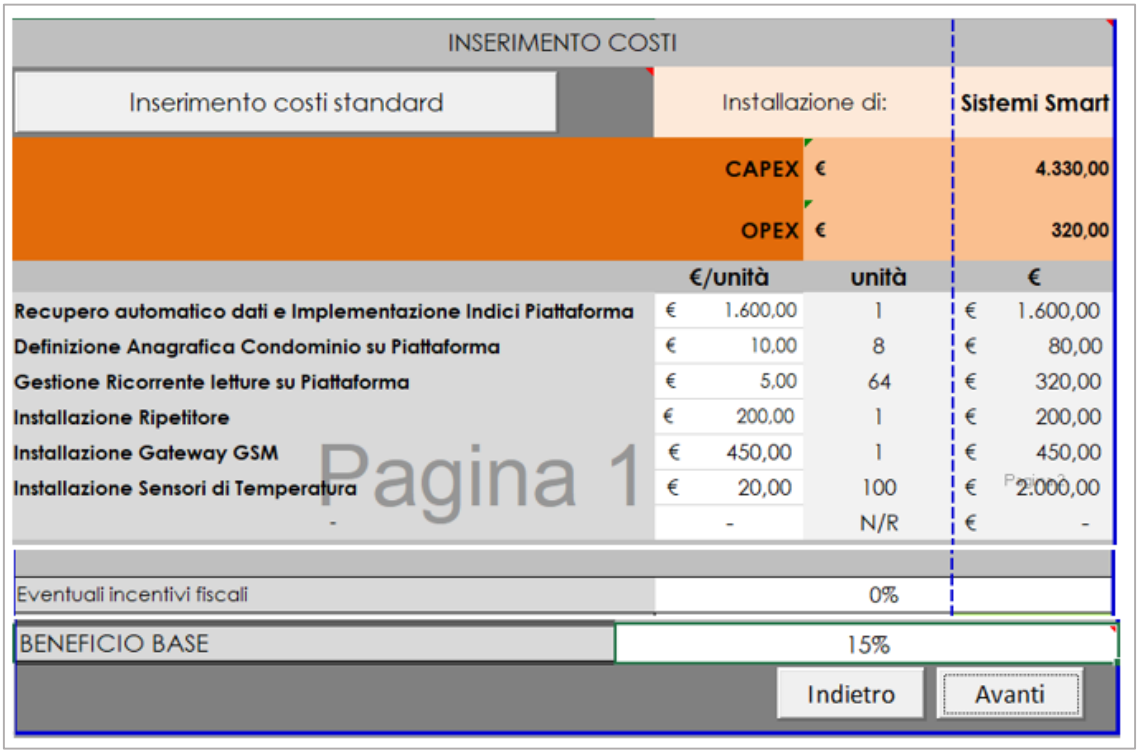
Si allegano i risultati dell'analisi economica:



TECHNICAL ASSESSMENT AND VIABILITY		
Comune	*	Anagni
Età edificio		1976-1982
Tipologia edificio		Abitazioni economiche/popolari/ultrapopolari
Numero appartamenti totali	*	8
Numero medio corpi scaldanti per appartamento	*	8
Numero piani	*	3
Numero edifici	*	1
SuperficieTotale utile edificio [m2]	*	643,26
Tipo Combustibile	*	Gas Naturale
Potere Calorifero Inferiore, PCI [kWh/u.c.]	*	9,60
Superficie media unità immobiliare [m2]		80,4075
Energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale riferita alla superficie utile, Eph,nren [kWh/m2/anno]	*	176,63

Figura 78-Informazioni Generali Edificio Anagni 18 B

L'energia primaria non rinnovabile viene ricavata dalla certificazione energetica condotta sull'edificio (APE).
Anche in questo caso, il beneficio stimato è pari al 15%. Il sistema di feedback è basato sul calcolo dell'indice di temperatura orario "IG_2" e di consumo giornaliero "IG_1".



INSERIMENTO COSTI					
Inserimento costi standard			Installazione di:		Sistemi Smart
			CAPEX	€	4.330,00
			OPEX	€	320,00
	€/unità		unità		€
Recupero automatico dati e Implementazione Indici Piattaforma	€	1.600,00	1	€	1.600,00
Definizione Anagrafica Condominio su Piattaforma	€	10,00	8	€	80,00
Gestione Ricorrente letture su Piattaforma	€	5,00	64	€	320,00
Installazione Ripetitore	€	200,00	1	€	200,00
Installazione Gateway GSM	€	450,00	1	€	450,00
Installazione Sensori di Temperatura	€	20,00	100	€	2.000,00
-		-	N/R	€	-
Eventuali incentivi fiscali			0%		
BENEFICIO BASE			15%		
			Indietro	Avanti	

Pagina 1

Figura 79-Inserimento Costi Anagni 18 B

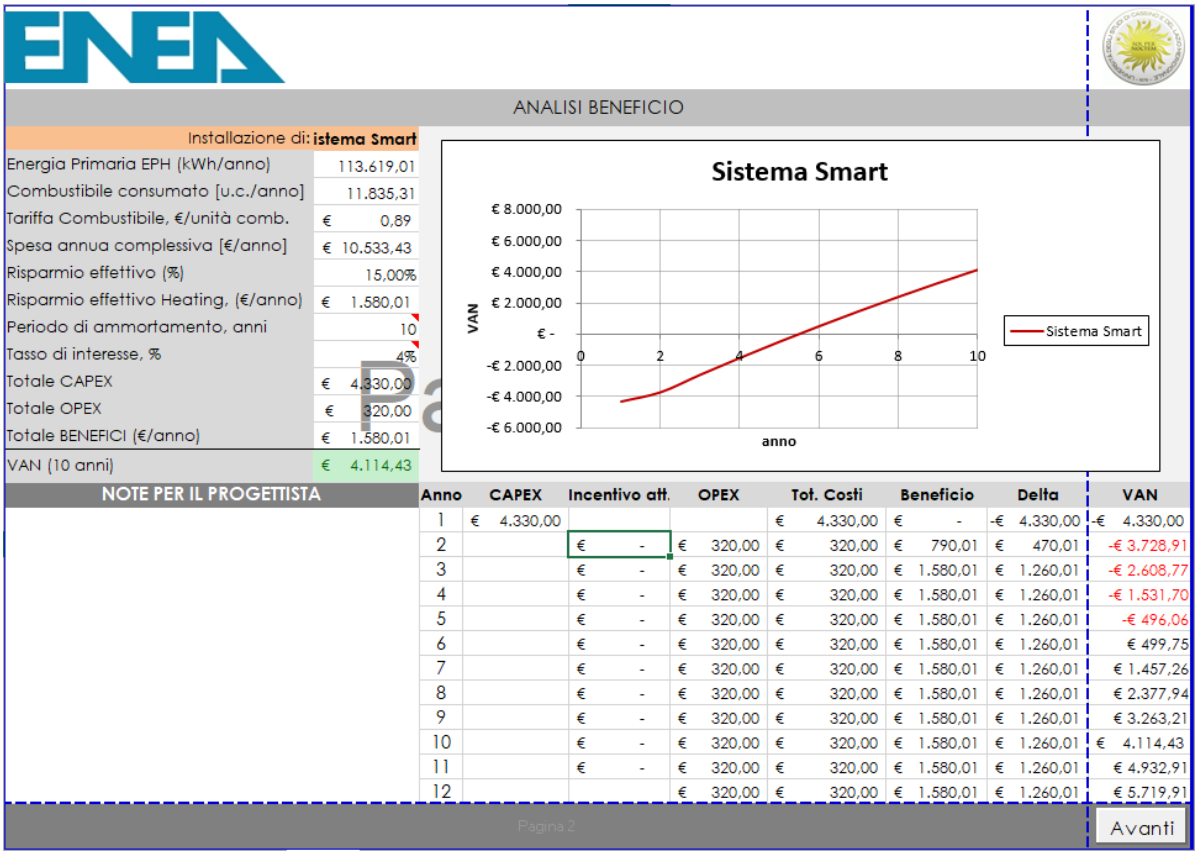


Figura 80-VAN Anagni 18 B

Come osservato in figura, l'investimento può essere considerato vantaggioso, presentando un tempo di rientro compreso tra il quinto e il sesto anno. I risultati sono assolutamente confrontabili con quelli del Sistema 1, trattandosi di due edifici praticamente "gemelli".
I sistemi "smart" dei due edifici di Anagni, presentando un tempo di ritorno dall'investimento iniziale pari a quasi la metà rispetto al periodo di ammortamento, consentono di prendere in considerazione delle soluzioni tecnologicamente più avanzate per il monitoraggio delle temperature o il trasferimento dei dati a dispositivi in remoto. L'investimento continua ad essere economicamente sostenibile aumentando i costi fissi fino a quasi il doppio rispetto ai valori attuali (circa 4300 €), ricorrendo, ad esempio, a sensori che consentono una visualizzazione delle rilevazioni (temperatura, pressione, umidità relativa) anche "in loco" tramite display, o a sensori programmabili, che effettuano un confronto con valori di set-point stabiliti preliminarmente dall'utenza e che segnalano l'eventuale scostamento rispetto agli stessi illuminando il display con luci di differente colore (es. "rosso" se la temperatura misurata è più calda rispetto a quella stabilita, "azzurro" se più fredda). Ciò avrebbe come effetto quello di spingere gli utenti, anche i più "ostili" all'utilizzo di sistemi informatici, verso un comportamento più attivo e virtuoso, aumentando i possibili benefici attesi dalla tecnologia "intelligente".

4.4.3. Sistema 3 – Ceprano

L'edificio è costituito da 10 appartamenti, ciascuno di essi dotato di 10 radiatori.
Attualmente l'edificio presenta un sistema di contabilizzazione con ripartitori di calore (UNI EN 834) disponibili alla lettura radio. La termoregolazione è effettuata per mezzo di valvole termostatiche a regolazione meccanica. Si segnala, inoltre, la presenza di 2 data-logger di temperatura installati per ciascun appartamento, eventualmente integrabili al sistema in fase di progettazione.

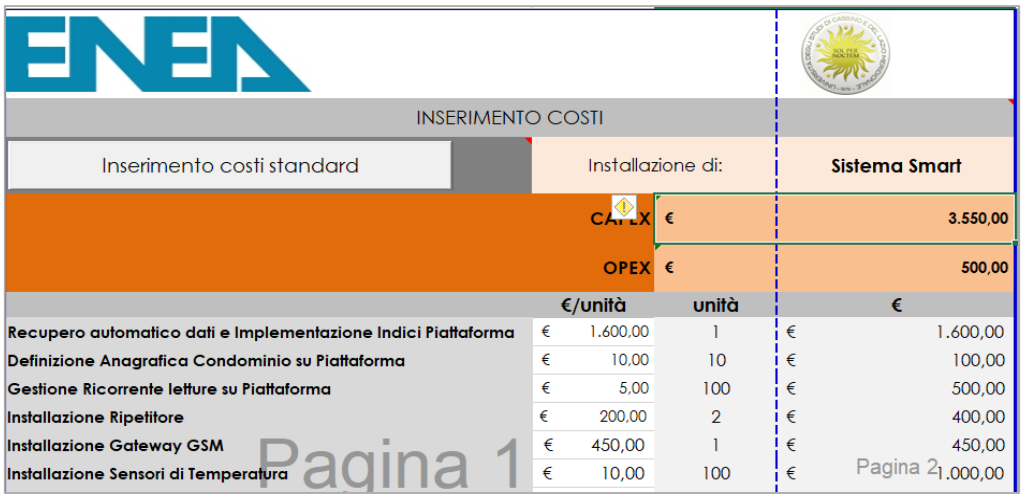
La struttura del sistema di termoregolazione e contabilizzazione, comprensivo di unità per il monitoraggio da remoto, è presentata nel seguito:

- 100 sistemi valvola termostatica + ripartitore (già installati su ciascun radiatore)**.** Il ripartitore è dotato di interfaccia radio per poter comunicare le letture delle unità calore a remoto. La frequenza delle letture delle UR di ciascun ripartitore deve essere giornaliera, al fine di stimare i consumi associati a ciascun corpo scaldante in tempo "quasi reale";
- 1 Contatore di calore (Heat Meter già installato nel locale caldaia) per la misura diretta dei consumi dei kWh termici di riscaldamento associati all'intero condominio. Le letture sono reperibili via radio con frequenza di rilevazione giornaliera;
- 100 sensori di temperatura interna (da installare, uno per ogni ambiente climatizzato) che devono consentire la rilevazione della temperatura con frequenza oraria;
- 1 sensore di temperatura esterna (già installato) con frequenza oraria di lettura del dato di temperatura;
- 2 ripetitori (da installare) sufficienti ad una copertura dell'intero edificio;
- 1 Gateway GSM (da installare) per la tele-lettura dei dati di consumo da postazione remota.

Si allegano i risultati dell'analisi economica:

TECHNICAL ASSESSMENT AND VIABILITY		
Comune	*	Ceprano
Età edificio		1976-1982
Tipologia edificio		Abitazioni economiche/popolari/ultrapopolari
Numero appartamenti totali	*	10
Numero medio corpi scaldanti per appartamento	*	10
Numero piani	*	-
Numero edifici	*	1
SuperficieTotale utile edificio [m2]	*	992,49
Tipo Combustibile	*	Gas Naturale
Potere Calorifero Inferiore, PCI [kWh/u.c.]	*	9,60
Superficie media unità immobiliare [m2]		99,249
Energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale riferita alla superficie utile, Eph,nren [kWh/m2/anno]	*	80,26

Figura 81-Descrizione Generale Edificio Ceprano



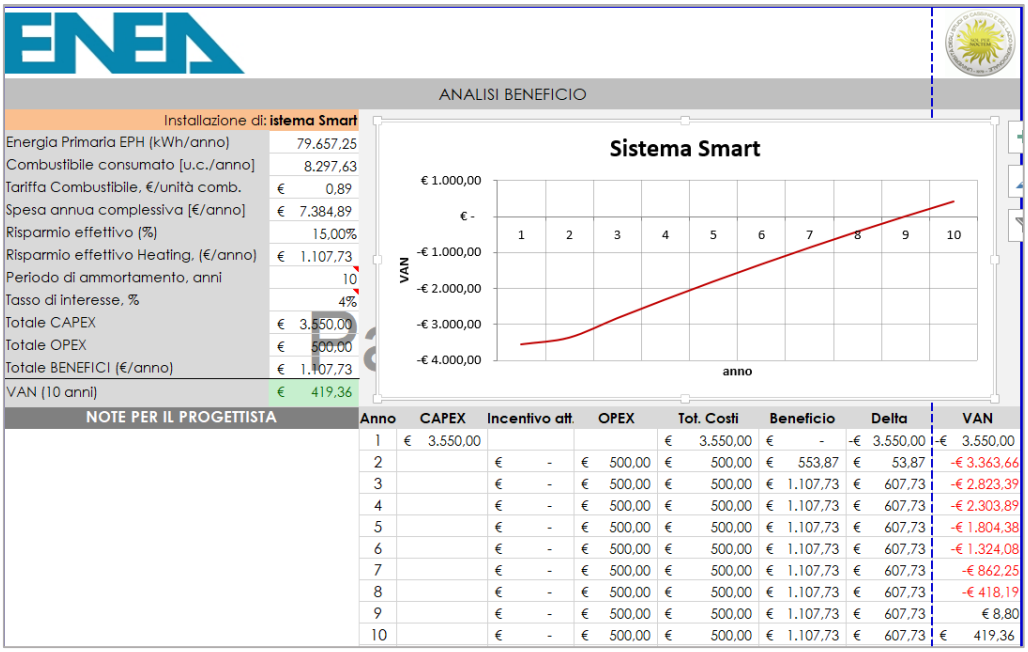
INSERIMENTO COSTI

Inserimento costi standard		Installazione di:	Sistema Smart
	CAPEX	€	3.550,00
	OPEX	€	500,00

	€/unità	unità	€
Recupero automatico dati e Implementazione Indici Piattaforma	€ 1.600,00	1	€ 1.600,00
Definizione Anagrafica Condominio su Piattaforma	€ 10,00	10	€ 100,00
Gestione Ricorrente letture su Piattaforma	€ 5,00	100	€ 500,00
Installazione Ripetitore	€ 200,00	2	€ 400,00
Installazione Gateway GSM	€ 450,00	1	€ 450,00
Installazione Sensori di Temperatura	€ 10,00	100	€ 1.000,00

Pagina 1 Pagina 2

Figura 82-Inserimento Costi Edificio Ceprano



ANALISI BENEFICIO

Installazione di:	istema Smart
Energia Primaria EPH (kWh/anno)	79.657,25
Combustibile consumato [u.c./anno]	8.297,63
Tariffa Combustibile, €/unità comb.	€ 0,89
Spesa annua complessiva [€/anno]	€ 7.384,89
Risparmio effettivo (%)	15,00%
Risparmio effettivo Heating, (€/anno)	€ 1.107,73
Periodo di ammortamento, anni	10
Tasso di interesse, %	4%
Totale CAPEX	€ 3.550,00
Totale OPEX	€ 500,00
Totale BENEFICI (€/anno)	€ 1.107,73
VAN (10 anni)	€ 419,36

NOTE PER IL PROGETTISTA

Anno	CAPEX	Incentivo att.	OPEX	Tot. Costi	Beneficio	Delta	VAN
1	€ 3.550,00			€ 3.550,00	€ -	-€ 3.550,00	-€ 3.550,00
2		€ -	€ 500,00	€ 500,00	€ 553,87	€ 53,87	-€ 3.363,66
3		€ -	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.107,73	€ 607,73	-€ 2.823,39
4		€ -	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.107,73	€ 607,73	-€ 2.303,89
5		€ -	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.107,73	€ 607,73	-€ 1.804,38
6		€ -	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.107,73	€ 607,73	-€ 1.324,08
7		€ -	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.107,73	€ 607,73	-€ 862,25
8		€ -	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.107,73	€ 607,73	-€ 418,19
9		€ -	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.107,73	€ 607,73	€ 8,80
10		€ -	€ 500,00	€ 500,00	€ 1.107,73	€ 607,73	€ 419,36

Figura 83-VAN Edificio Ceprano

Si noti come, rispetto agli edifici di Anagni, un consumo di combustibile mediamente più basso, unito ad un costo di investimento fisso maggiore (più sensori da installare), ritardi l'anno di rientro dall'investimento iniziale.
Il sistema di feedback è basato sul calcolo dell'indice di temperatura orario "IG_2" e di consumo giornaliero "IG_1".

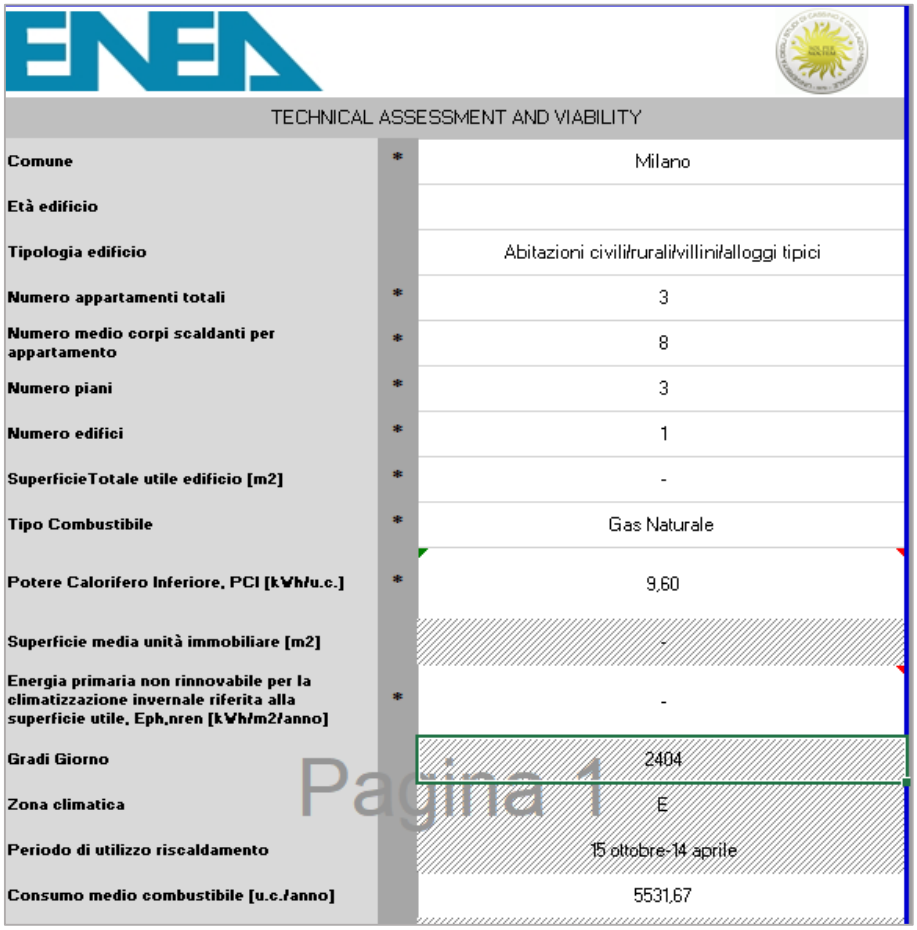
4.4.4. Sistema 4 – Milano

L'edificio è costituito da 3 appartamenti, disposti su tre piani. Ciascun appartamento è dotato di 8 radiatori. Attualmente l'edificio presenta un sistema di contabilizzazione con totalizzatori compensati del tipo ITC-TC (UNI 11388) "Termo-Autonomo". Questa configurazione, rispetto alle precedenti, consente di integrare più agevolmente il sistema "smart" in fase di progetto, poiché la struttura del Termo-Autonomo prevede già la trasmissione dei dati al software di tele-gestione. Ne consegue che componenti quali concentratori di piano e modem/gateway GSM risultano già correttamente configurati e predisposti per la lettura a distanza dei dati raccolti. Il loro costo di installazione non

viene dunque incluso all'interno dell'analisi. Viene comunque considerata l'installazione dei sensori di temperatura, poiché, come visto, le attuali sonde di temperatura interna non consentono di recuperare un dato rappresentativo dell'effettiva temperatura degli ambienti riscaldati. La struttura del sistema di termoregolazione e contabilizzazione, comprensivo di unità per il monitoraggio da remoto, è presentata nel seguito:

- 24 sistemi ITC-TC (già installati su ciascun radiatore). La frequenza delle letture delle UR di ciascun radiatore deve essere giornaliera. Questa tipologia di sistema non è compatibile con una visualizzazione dei consumi ripartita per ogni corpo scaldante. È consultabile il dato dei "Punti Anno" solo a livello di appartamento complessivo;
- 24 sensori di temperatura interna (da installare, uno per ogni ambiente climatizzato) che devono consentire la rilevazione della temperatura con frequenza oraria;
- 1 sensore di temperatura esterna (già installato) con frequenza oraria di lettura del dato di temperatura;
- 3 unità di piano (già installate) per la raccolta dei dati di consumo e temperature registrati nei rispettivi alloggi;
- 1 Gateway GSM (già installato) per la tele-lettura dei dati di consumo da postazione remota;

Si allegano i risultati dell'analisi economica condotta:



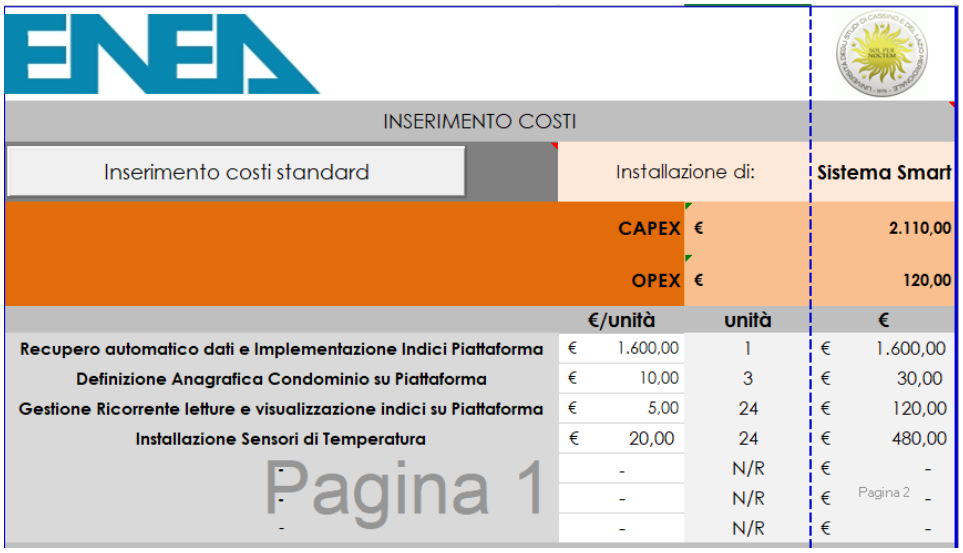
TECHNICAL ASSESSMENT AND VIABILITY

Comune	*	Milano
Età edificio		
Tipologia edificio		Abitazioni civili/rurali/villini/alloggi tipici
Numero appartamenti totali	*	3
Numero medio corpi scaldanti per appartamento	*	8
Numero piani	*	3
Numero edifici	*	1
SuperficieTotale utile edificio [m2]	*	-
Tipo Combustibile	*	Gas Naturale
Potere Calorifero Inferiore, PCI [kWh/u.c.]	*	9,60
Superficie media unità immobiliare [m2]		-
Energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale riferita alla superficie utile, Eph,nren [kWh/m2/anno]	*	-
Gradi Giorno		2404
Zona climatica		E
Periodo di utilizzo riscaldamento		15 ottobre-14 aprile
Consumo medio combustibile [u.c./anno]		5531,67

Pagina 1

Figura 84-Descrizione Generale Edificio di Milano

In questo caso è stato inserito il consumo di combustibile medio registrato nelle tre annualità descritte in figura 28.



INSERIMENTO COSTI

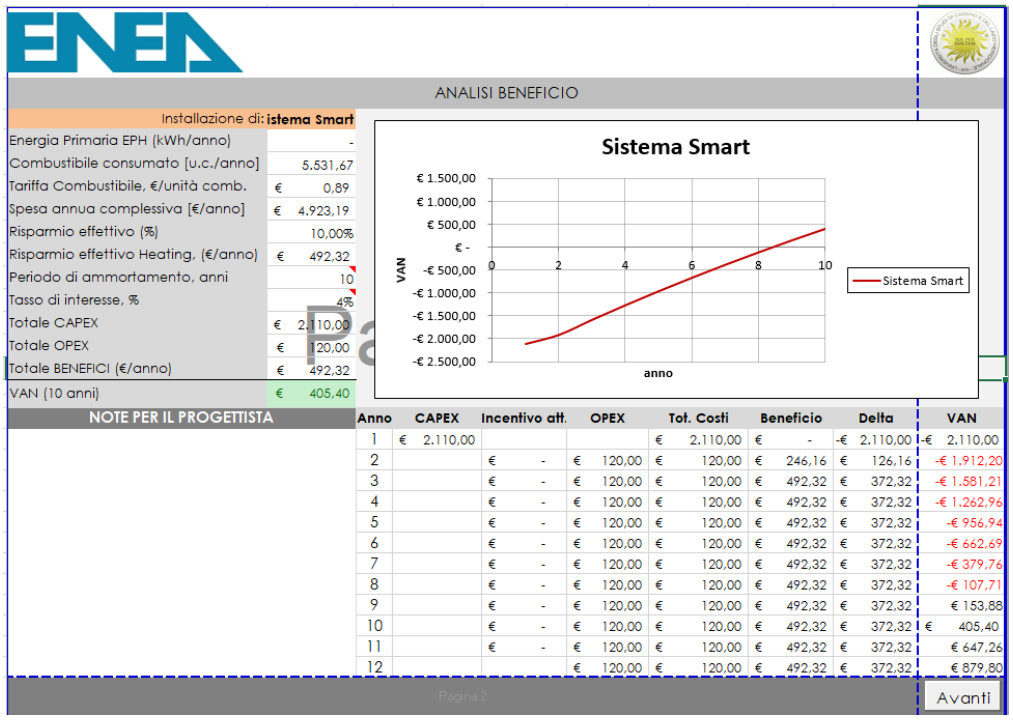
Inserimento costi standard		Installazione di:	Sistema Smart
	CAPEX €		2.110,00
	OPEX €		120,00

	€/unità	unità	€
Recupero automatico dati e Implementazione Indici Piattaforma	€ 1.600,00	1	€ 1.600,00
Definizione Anagrafica Condominio su Piattaforma	€ 10,00	3	€ 30,00
Gestione Ricorrente letture e visualizzazione indici su Piattaforma	€ 5,00	24	€ 120,00
Installazione Sensori di Temperatura	€ 20,00	24	€ 480,00
-	-	N/R	€ -
-	-	N/R	€ -
-	-	N/R	€ -

Pagina 1
Pagina 2

Figura 85-Inserimento Costi Edificio Milano

Il risparmio previsto per questo edificio è supposto pari al 10%, percentuale più bassa rispetto a quella ipotizzata per i sistemi precedenti. Ciò è dovuto alla particolare tipologia di termoregolazione in uso. Pur richiedendo un livello di esperienza maggiore degli utenti finali, si tratta comunque di una tecnologia che consente già di visionare in tempo reale tutte le informazioni sullo stato di utilizzo dell'impianto. Ne consegue che il margine di miglioramento del risparmio, ottenibile tramite il nuovo sistema informativo, è ridotto.



ANALISI BENEFICIO

Installazione di:	istema Smart
Energia Primaria EPH (kWh/anno)	-
Combustibile consumato [u.c./anno]	5.531,67
Tariffa Combustibile, €/unità comb.	€ 0,89
Spesa annua complessiva [€/anno]	€ 4.923,19
Risparmio effettivo (%)	10,00%
Risparmio effettivo Heating, (€/anno)	€ 492,32
Periodo di ammortamento, anni	10
Tasso di interesse, %	4%
Totale CAPEX	€ 2.110,00
Totale OPEX	€ 120,00
Totale BENEFICI (€/anno)	€ 492,32
VAN (10 anni)	€ 405,40

NOTE PER IL PROGETTISTA

Anno	CAPEX	Incentivo att.	OPEX	Tot. Costi	Beneficio	Delta	VAN
1	€ 2.110,00			€ 2.110,00	€ -	-€ 2.110,00	-€ 2.110,00
2		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 246,16	€ 126,16	-€ 1.912,20
3		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	-€ 1.581,21
4		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	-€ 1.262,96
5		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	-€ 956,94
6		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	-€ 662,69
7		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	-€ 379,76
8		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	-€ 107,71
9		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	€ 153,88
10		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	€ 405,40
11		€ -	€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	€ 647,26
12			€ 120,00	€ 120,00	€ 492,32	€ 372,32	€ 879,80

Pagina 2

Avanti

Figura 86-VAN Edificio Milano

Il sistema di feedback è basato sul calcolo dell'indice di temperatura orario "IG_2" e degli indici di consumo giornalieri "IG_1^*" e "IG_2^*", descritti al paragrafo 4.3.3.
Nonostante un beneficio più basso, la riduzione dell'investimento iniziale, per l'assenza delle voci di costo associate al Gateway e ai concentratori di piano, rende complessivamente vantaggioso l'investimento entro il periodo di ammortamento stabilito.

CONCLUSIONI

I risultati esposti nel presente studio mettono in luce diversi aspetti interessanti sul tema della termoregolazione e contabilizzazione del calore.
Una prima riflessione può essere fatta sulla natura del risparmio energetico conseguito dal campione di edifici esaminato al Capitolo 3. Vanno anzitutto differenziate le utenze che utilizzano un sistema con ripartitore (UNI EN 834) e valvola termostatica a regolazione manuale da quelle con sistema Termo-Autonomo, particolare tecnologia ascrivibile alla famiglia dei totalizzatori "ITC-TC" (UNI 11388). I primi, pur beneficiando complessivamente dell'introduzione della termoregolazione, fanno registrare un valore di risparmio medio nettamente inferiore rispetto alla seconda categoria. Si riportano sinteticamente i risparmi delle varie utenze esaminate[22]:

- Condominio Utenza 1 Torino (HCA + valvola con testina manuale): 5,4 %;
- Condomini Utenze 2 Torino (HCA + valvola con testina manuale): 10 %;
- Condominio Milano (Termo-Autonomo): 22%;
- Condominio Pila (Termo-Autonomo): 27%;
- Condominio Brusson (Termo-Autonomo): 27%;
- Scuola Milano: 25%;

Un risultato di questo tipo evidenzia come la tipologia di sistema adottata influisca notevolmente sulla riduzione dei consumi. I sistemi con valvola termostatica con testina a regolazione meccanica (manuale) sono soggetti a diverse limitazioni. Su tutte, l'impossibilità di impostare un programma di regolazione giornaliero che limiti l'erogazione del servizio alle ore in cui è effettivamente richiesto. Un sistema che si basa interamente sull'azione dei singoli utenti, infatti, è spesso soggetto a gestioni poco oculate. Sono frequenti i casi in cui la valvola termostatica viene regolata alla condizione di massima apertura e dimenticata in questa posizione anche nelle ore di non occupazione degli ambienti. Di contro, la regolazione effettuata tramite Termo-Autonomo consente una programmazione automatica del riscaldamento (dividendo l'appartamento in 3 zone termiche) e la gestione da remoto del servizio, offrendo ai singoli inquilini (o all'amministratore) la possibilità di correggere eventuali gestioni anomale anche a distanza. Tuttavia, va constatato che l'adozione dei sistemi di termoregolazione più comuni non incoraggia, se non in misura minoritaria, ad una partecipazione attiva da parte degli utenti finali, non consentendo di ricevere informazioni adeguate sugli effetti di una gestione più attenta del sistema. Per questo motivo, l'ultima parte dello studio si è concentrata sul progetto di una soluzione impiantistica che, avvalendosi di tempi d'informazione più brevi rispetto a quelli standard, abilitasse gli utenti ad un controllo più consapevole del sistema.
La ricerca ha condotto alla definizione di diversi indici qualitativi, basati sulle rilevazioni sia dei consumi giornalieri sia delle temperature orarie di tutti gli ambienti riscaldati.
Gli indici sono stati sperimentati sul condominio di Milano, già abilitato alla tele-gestione da remoto. Si è osservato come risulti di difficile applicazione un indice giornaliero basato sul confronto delle unità di ripartizione misurate con quelle di riferimento (caratteristiche del locale/appartamento considerato). Questo, infatti, è estremamente influenzato dalla variabilità delle condizioni al contorno (esterne e di utilizzo). Si è preferito, dunque, impostare la valutazione dell'indice giornaliero su un parametro che evidenziasse, più che il consumo effettivo, il grado di utilizzo del sistema. Quest'ultimo, inoltre, non tiene soltanto conto della singola giornata in esame, ma di un "trend" medio di utilizzo della termoregolazione in costante aggiornamento.

[22] Le percentuali indicate sono state calcolate a partire da una media dei risparmi di energia primaria (u.c./GG) misurati nelle diverse annualità. Viene considerato esclusivamente il contributo di risparmio associato alla termoregolazione (no sostituzione caldaia, se contemporaneo)

A valle di queste considerazioni, si ritiene comunque che lo strumento più efficace per consentire un monitoraggio in tempo reale dell'appartamento sia il valore di temperatura interna di ciascun locale. Se misurata con frequenza oraria, la temperatura permette di rilevare con estrema semplicità eventuali anomalie di utilizzo dei corpi scaldanti.
Attualmente i sistemi esaminati non consentono di acquisire quest'ultimo dato. In particolare, il Termo-Autonomo, pur mettendo a disposizione una misura puntuale effettuata tramite la sonda del regolatore, evidenzia come il valore di temperatura sia profondamente condizionato dalla vicinanza della sonda al corpo scaldante. Per questa ragione, il progetto del sistema "smart" ha incluso l'installazione di un sensore di temperatura in ogni ambiente riscaldato, posizionato in modo da non risentire di eventuali disturbi locali.
L'ultima fase del lavoro certifica il vantaggio economico, oltre che energetico, derivante dalla scelta di ricorrere a soluzioni di questo tipo. Considerati i costi di installazione dei componenti hardware da integrare alla struttura attuale (sensori di temperatura, concentratori di piano e Gateway GSM per la trasmissione dei dati a remoto), uniti a quelli di gestione di una piattaforma Web per la raccolta delle misure, gli investimenti ipotizzati risultano complessivamente vantaggiosi.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

[1] ENEA, *Rapporto Annuale Efficienza Energetica, 2019*:
https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-volumi/2019/raee-2019.pdf

[2] Ministero dello Sviluppo Economico**,** *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima***,** 2019:
https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf

[3] http://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/clima/2018/10/08/onu-quattro-percorsi-per-tenere-riscaldamento-entro-15-c_8cb9bf7e-1e8f-425c-b77a-ab709854f10e.html

[4] 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,* Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA, Settembre 2017

[5] https://www.qualenergia.it/articoli/idee-per-avviare-la-riqualificazione-energetica-profonda-delledilizia/

[6] http://biblus.acca.it/focus/contabilizzazione-del-calore-guida/

[7] https://www.internet4things.it/iot-library/internet-of-things-gli-ambiti-applicativi-in-italia/

[8] https://it.wikipedia.org/wiki/Crisi_energetica_(1973)

[9] Legge 30 marzo 1976, n. 373, *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici,* Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana:
https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1976/06/07/076U0373/sg

[10] Legge 9 gennaio 1991, n. 10, *Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia,* Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana:
https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1991/01/16/091G0015/sg

[11] Decreto del Presidente della Repubblica 26 Agosto 1993, n. 412, *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10,* Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana:
https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1993/10/14/093G0451/sg

[12] http://www.verigas.it/index.php/en/component/content/article?id=15:normativa-di-riferimento-&start=7&Itemid=437

[13] Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n. 551, *Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana: https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2000/04/06/000G0118/sg

[14] Decreto del Presidente della Repubblica 16 aprile 2013, n. 74, *Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e c), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192,* Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana: https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2013/06/27/13G00114/sg

[15] Decreto del Presidente della Repubblica, 2 aprile 2009, n. 59, *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia,* Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana: https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2009-06-10&atto.codiceRedazionale=009G0068&elenco30giorni=false

[16] Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del consiglio del 25 Ottobre 2012*, 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 dell'Unione europea, 2012: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex:32012L0027

[17] 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 della Repubblica Italiana: https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2014/07/18/14G00113/sg

[18] Comitato Termotecnico Italiano, UNI 10200:2018, *Impianti termici centralizzati di climatizzazione invernale, estiva e produzione di acqua calda sanitaria – Criteri di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale, estiva e produzione di acqua calda sanitaria,* Ottobre 2018

[19] Comitato Termotecnico Italiano, UNI 11300 parte I, II, III, IV, *Prestazioni energetiche degli edifici,* Ottobre 2014

[20] Claudio Antonio Lucchesi, Slide di Presentazione Convegno Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino: *Applicazione D.lgs. 102 2014 – UNI 10200:2018; Scommessa vinta o ulteriore occasione perduta?,* Novembre 2018

[21] M. Dell'Isola, L. Celenza, G. Ficco, P. Vigo, Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale, Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica, *La contabilizzazione accurata e trasparente dell'energia,* ENEA magazine:Energia ambiente e innovazione, 2016

[22] https://www.coffeenews.it/rete-di-distribuzione-di-un-impianto-di-riscaldamento

[23] http://www.progetto2000web.it/articoli/termotecnica-energetica/lanalisi-economica-secondo-la-norma-uni-en-15459/

[24] http://www.progetto2000web.it/articoli/contabilizzazione/la-contabilizzazione-conforme-alla-norma-uni-en-834-risponde-ai-requisiti-della-direttiva-201227ue/

[25] Comitato Termotecnico Italiano, UNI 11388:2015, *Sistemi di contabilizzazione indiretta del calore basati sui tempi di inserzione dei corpi scaldanti compensati dalla temperatura media del fluido termovettore,* Maggio 2015

[26] Comitato Termotecnico Italiano, UNI 834:2013, *Ripartitori dei costi di riscaldamento per la determinazione del consumo dei radiatori - Apparecchiature ad alimentazione elettrica,* Settembre 2013

[27] M. Dell'Isola, P. Vigo, G.Ficco, L.Celenza, *Analisi e caratterizzazione metrologica dei sistemi di misura delle reti termiche distribuite,* Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA, Settembre 2015

[28] https://www.caleffi.com/italy/it/blog/il-ripartitore-contabilizza-anche-quando-limpianto-e-spento

[29] Report ENEA, *Benefici Energetici generati dalla contabilizzazione individuale del calore*

[30] Comitato Termotecnico Italiano, UNI EN 442-1:2015, *Radiatori e convettori - Parte 1: Specifiche tecniche e requisiti,* Febbraio 2015

[31] Caleffi, *Idraulica: Gli impianti a valvole termostatiche*, Febbraio 1997

[32] https://cdn.manomano.com/comando-termostatico-per-radiatori-caleffi-200000-bianco-P-264916-11616552_1.jpg

[33] Caleffi, *Idraulica: Autonomia termica e ripartizione delle spese*, Dicembre 2010

[34] https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61p14rX20BL._AC_SL1000_.jpg

[35] http://www.coster.info/public/upload/files/TermoautonomoWireless.pdf

[36] E. Fabrizio, M. Filippi, V. Monetti, M. Magri, A. Magri, *Applicazione di un sistema di automazione per la regolazione e contabilizzazione del calore*

[37] Comitato Termotecnico Italiano, UNI EN 15232-1:2017, *Prestazione energetica degli edifici - Parte 1: Impatto dell'automazione, del controllo e della gestione tecnica degli edifici,* Ottobre 2017

[38] http://www.altecon.it/approfondimenti/en-15232

[39] A. Magri, *Riscaldamento negli edifici esistenti, condomini, residences, scuole e simili, da "caldaiocentrico" a "inquilinocentrico"*,COSTER T.E. S.p.A.

[40] M. Magri, *Smart Readiness Indicator: Efficienza energetica, quanto conta la consapevolezza degli occupanti?,* Aicarr Journal, Issn:2038-2723, Settembre 2019

[41] https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/selezione-gradi-giorno/selezione-gradi-giorno.html

[42] https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo/Torino

[43] https://www.efficienzaenergetica.enea.it/detrazioni-fiscali/ecobonus.html

[44] http://www.arpa.vda.it/it/aria/3141-gradi-giorno

[45] Studio Mantovani, *Installazione di un sistema di contabilizzazione dei consumi e suddivisione spese secondo UNI 10200 in frazione Pila n. 78,* Dicembre 2015

[46] https://gonzaga-milano.it/istituto/i-nostri-servizi#expand2

[47] Armando Portoraro, *Sistemi BEMS*, Slide del corso "Impiego Industriale dell'Energia", 2018/2019

[48] http://www.digitimesrl.it/smart-home-e-domotica-vediamo-le-differenze/

[49] M. Dell'Isola, G. Ficco, L. Canale, R. D'Alessio, G. Cortellessa, A. Massimo, P. Vigo, *Ottimizzazione e miglioramento dei sistemi di contabilizzazione e dei metodi di ripartizione del calore,* Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA, Settembre 2017

[50] Direttiva (UE) 2018/2002 *del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018, che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica,* Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, 2018

[51] Raccomandazione (UE) 2019/1660 della Commissione del 25 Settembre 2019, *concernente l'attuazione delle nuove disposizioni in materia di contabilizzazione e fatturazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica,* Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea, 2019

[52] Consulting &Service, *Guida Tecnica: Apparecchi per letture a distanza:* www.contabilizzazionedelcalore.com

[53] Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 Maggio 2018, *che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica,* Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea, 2018

[54] RienergyGroup, *Guida Base MCC by RiEnergyGroup s.r.l:* http://www.rienergygroup.it/guide/guidaMCC/MCC.html

[55] https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/597_2011_287_12906.pdf

[56] http://www.rienergygroup.net/MCC_EVO/index.php

[57] M. Magri, *Guida all'Ecobonus 2019 in ambito termotecnico: regolazione "evoluta",* 2019: https://docs.google.com/document/d/1yZCRD_jiUhsXkJPOoiK1Z-NiqriqS19aLkrPPGDB-4w/edit

[57] https://blog.osservatori.net/it_it/smart-metering-contatori-intelligenti-italia

[58] https://www.netatmo.com/it-it/glossario/dispositivi-intelligenti

[59] https://www.caleffi.com/sites/default/files/sc_home/normative_contabilizzazione_cal.pdf

[60] M. Magri, *Ecobonus Termoautonomo Wireless CosterGroup,* 2019: https://docs.google.com/document/d/1vBfQ6uf5WuM8hZ5H_Gmi3L2acCQcl2aPjI3qyWQ-1sU/edit

[61] Ministero dello Sviluppo Economico, *Decreto interministeriale 26 giugno 2015 – Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*, 2015: https://www.mise.gov.it/index.php/it/normativa/decreti-interministeriali/2032966-decreto-interministeriale-26-giugno-2015-applicazione-delle-metodologie-di-calcolo-delle-prestazioni-energetiche-e-definizione-delle-prescrizioni-e-dei-requisiti-minimi-degli-edifici

[62] A. Magri, *Riscaldamento Condominiale: Comfort e Risparmio Energetico. Esame globale del problema e proposte di soluzione,* Slide di presentazione.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro ha incluso la partecipazione di diverse persone, a cui vorrei rivolgere i miei più sinceri ringraziamenti per il prezioso aiuto fornitomi. Dedico queste brevi ultime righe a:
Il mio relatore, prof. Marco Carlo Masoero, per avermi offerto la sua supervisione durante tutto lo svolgimento della tesi e per essersi mostrato sempre disponibile, anche in un momento di difficile gestione della didattica come quello presente;
Il mio tutor aziendale, Ing. Biagio Di Pietra, che, dopo la preziosa esperienza in ENEA durante la Laurea Triennale, è tornato a collaborare con me per completare, insieme, quest'ultimo passo della mia carriera da studente. Lo ringrazio perché, oltre al costante supporto di questi mesi, so bene che "competenza" non sempre è sintomo di "gentilezza", come invece lo è stato in quest'occasione;
L'Ing. Massimiliano Magri (Coster Group s.r.l), essenziale fonte di consigli e di una parte importante del materiale utile alla realizzazione del mio lavoro;
L'Ing. Claudio Antonio Lucchesi, una persona in grado di mettere la propria grande esperienza ("Integrale degli errori nel tempo" cit.) al servizio della propria passione per l'insegnamento, non come Professore ma come Maestro;
L'ing. Luigi Tavernise (RienergyGroup s.r.l.) per aver dedicato il proprio tempo a quest'attività e avermi offerto assistenza in tutte le fasi del lavoro che hanno incluso la sua piattaforma MCC;
L'Ing. Pino Zilla (Exe.Gesi s.p.a.), per il lavoro svolto all'interno della fase di analisi dati dei condomini di Torino e per il tempo speso insieme in Exe,Gesi;
Gli Ing. Adriano Bortolazzo, Vittorio Quagliotti e il Direttore Tecnico dell'Istituto Gonzaga di Milano, per il materiale inviatomi sugli impianti di riscaldamento da loro gestiti;
I prof. Marco Dell'Isola e Giorgio Ficco dell'Università degli Studi di Cassino, per le informazioni ricevute sugli edifici di Anagni e Ceprano;
Martino Macaluso, professore "onorario" di famiglia, per le sue innate doti d'insegnante, davanti alle quali anche il materiale offertomi sul suo condominio di Torino passano in secondo piano.
La mia famiglia, Elena e tutti i miei amici, a cui dedicherò in separata sede un pensiero "meno formale".
Ringrazio tutti per il tempo e la disponibilità a me dedicata.
Ad maiora!