



Analisi dei sistema di controllo del riscaldamento con radiatori

Introduzione

L'obiettivo del presente articolo è analizzare l'influenza dei sistemi di controllo intelligenti negli impianti di riscaldamento con unità idroniche e il loro contributo all'efficienza energetica di un edificio. A tal fine, viene presentata la modellazione delle strategie di controllo multizona proposte dalla società Airzone per i sistemi idronici tramite il software TRNSYS18 [1]. L'obiettivo è valutare le potenzialità del sistema di controllo della temperatura indipendente in ogni zona di un edificio residenziale in un impianto con pompa di calore e radiatori ad alta temperatura. I risultati saranno confrontati con diversi casi. Il caso convenzionale più comune è costituito da una caldaia a gas e radiatori ad alta temperatura. Lo studio analizza l'influenza del tipo di involucro termico dell'edificio, diversi scenari di controllo e la zona climatica. I risultati confrontano i risultati di risparmio energetico, comfort termico e fattibilità economica.

Attualmente, la società sta affrontando problemi legati al settore energetico a causa della scarsità di risorse e della necessità di limitare le emissioni di gas a effetto serra per mitigare gli effetti del cambiamento climatico. La direttiva 2012/27/UE [2] calcola che il 40% del consumo finale di energia viene prodotto negli edifici, e che circa il 50% è attribuibile ai sistemi di raffreddamento e riscaldamento. Recentemente, attraverso la Commissione REPowerEU [3], l'Unione Europea ha ammesso che è urgente una rapida transizione verso un altro modello energetico per l'Europa che diversifichi l'approvvigionamento di gas e che consenta di eliminare progressivamente la dipendenza dai combustibili di questo territorio entro il 2030. Una delle misure è raddoppiare il ritmo annuale degli impianti di pompe di calore (10 milioni installate nei prossimi cinque anni) [4]. Infatti, la nuova Direttiva sull'Efficienza Energetica negli Edifici (EPBD) ha appena concordato che i sistemi di riscaldamento a base di combustibili fossili saranno eliminati dall'Unione Europea entro il 2040 [5]. Considerando che, nell'attuale parco residenziale in Europa, il livello di isolamento è basso ed è abituale un sistema di riscaldamento basato su radiatori ad alta temperatura con produzione a caldaia, è necessario analizzare la fattibilità tecnico-economica dell'introduzione della pompa di calore in una serie di scenari diversi (livello di isolamento, tipo di clima, ecc.), in cui il sistema di controllo svolgerà un ruolo fondamentale per ottenere la massima efficienza e garantire il comfort termico degli utenti.

In Italia, circa il 75% e il 17% degli italiani vive, rispettivamente, in edifici costruiti prima del 1990 e prima del 1950 [6], il che conferma il trend europeo sull'età media degli edifici, per cui esiste un'importante percentuale di abitazioni che non è dotata di un impianto di riscaldamento efficiente, il che rappresenta un importante potenziale di risparmio e di integrazione di tecnologie che consentano un risparmio nel consumo energetico.

Descrizione degli scenari di riscaldamento e controllo

Si propone il confronto di un sistema di riscaldamento basato su radiatori ad alta temperatura come unità terminale e si confrontano due casi di sistemi di produzione: caldaia e pompa di calore. Inoltre, vengono presentati diversi casi di strategie di controllo.

1| Sistema convenzionale: caldaia a gas e radiatori ad alta temperatura (CALD)

È un impianto abituale nelle vecchie abitazioni di un settore del parco residenziale. La produzione di acqua calda è a temperatura costante e non vi è alcun controllo sui radiatori. La caldaia a gas convenzionale eroga acqua calda con produzione fissa a 70 °C ai radiatori dislocati in ogni zona dell'abitazione. L'impianto è considerato bilanciato all'avvio con valvole

manuali, ma non esiste alcun tipo di controllo della valvola che regola l'ingresso dalla portata d'acqua ai radiatori (figura 1).

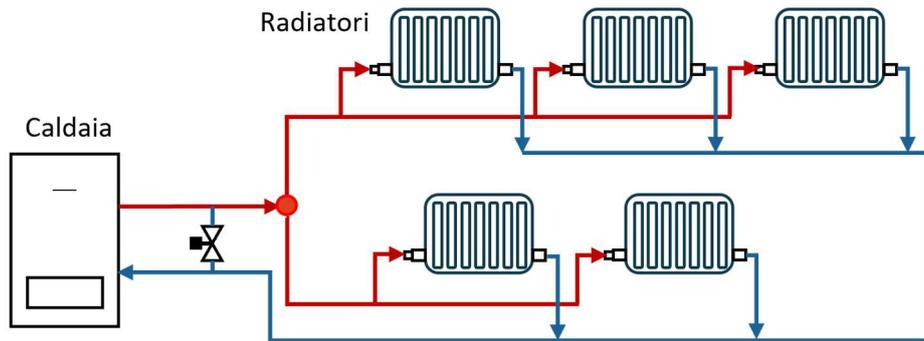


Figura 1. Sistema convenzionale: caldaia a gas e radiatori ad alta temperatura senza controllo.

2) Impianto rinnovato, ma non controllato: pompa di calore ad alta temperatura e radiatori (BDC)

La misura per il rinnovo del sistema di riscaldamento con cui si incentivano gli utenti è la sostituzione della caldaia con una pompa di calore, lasciando i radiatori come unità terminali. In questo caso, vengono utilizzate pompe di calore ad alta temperatura, in cui la temperatura di produzione dell'acqua calda della pompa di calore viene regolata per mantenere un setpoint di 70 °C, in funzione della curva di riscaldamento che l'unità integra e che modifica il setpoint in base alla temperatura esterna e alla temperatura interna, come mostrato nella figura 2.

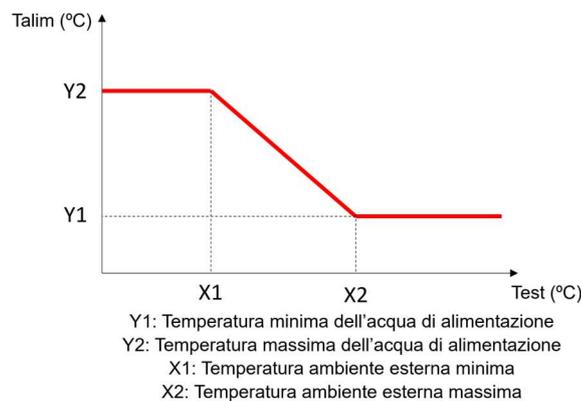


Figura 2. Curva di comportamento della pompa di calore. Determinazione della temperatura di mandata in funzione della temperatura esterna.

I limiti di temperatura esterna dipendono dalla zona climatica in cui viene installata l'unità, mentre, per la temperatura di mandata, l'intervallo è condizionato in modo da non generare disagio termico da correnti d'aria o bassa efficienza delle reti di distribuzione. Ad esempio, in questo caso sono state stabilite una temperatura minima e massima esterna compresa tra 0 e 15 °C nelle tre città analizzate e una temperatura minima e massima di mandata compresa tra 60 e 80 °C, in modo che la temperatura di mandata media sia di circa 70 °C.

Il sistema di controllo delle unità terminali è chiamato sistema non zonificato, poiché si tratta di un controllo ON/OFF sulla pompa di circolazione dell'acqua in funzione della temperatura misurata dal termostato posto in una zona dell'abitazione (figura 3).

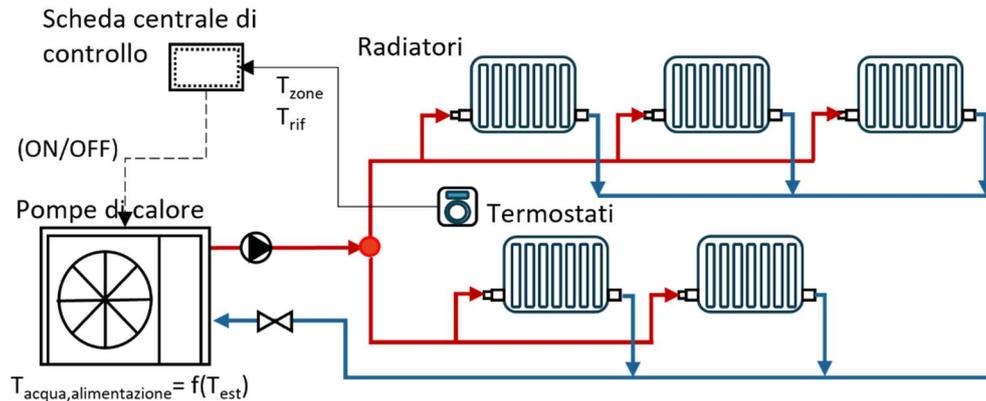


Figura 3. Sistema rinnovato: pompa di calore e radiatori ad alta temperatura con controllo non zonificato

La figura 4 mostra come viene accesa e spenta la valvola ogni volta che la differenza di temperatura tra la temperatura misurata dalla sonda della testina del radiatore (T_z) e la temperatura impostata (T_{set}) è di $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

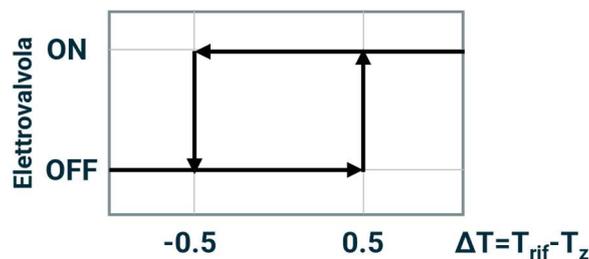


Figura 4. Controllo ON/OFF della valvola in funzione della differenza di temperatura tra il setpoint e la temperatura della zona master.

3) Sistema rinnovato con controllo zonificato Airzone: pompa di calore ad alta temperatura e radiatori (AIRZ)

Anche in questo caso, la temperatura di produzione della pompa di calore viene imposta come descritto nel caso precedente (figura 2), per tener conto delle condizioni esterne.

D'altra parte, l'importanza e la necessità di integrare sistemi di controllo della climatizzazione sta diventando sempre più un elemento differenziale per il miglioramento dell'efficienza negli edifici. La normativa ISO52120 [7] regola l'uso di sistemi di controllo della climatizzazione negli edifici e, in particolare, stabilisce l'obbligatorietà della zonificazione termica, ovvero il controllo individuale delle temperature in ogni zona/stanza dell'edificio, come azione fondamentale per garantire il comfort termico e l'efficienza dell'impianto.

Per il controllo delle unità terminali, è disponibile un controllo su ciascuna delle valvole situate all'ingresso di ciascun radiatore per aprire o chiudere il passaggio dell'acqua a tale radiatore in funzione della differenza di temperatura tra la temperatura impostata della zona e la temperatura misurata dal termostato installato nella zona, che comunica alla centrale di controllo lo stato termico di tale zona. Il fatto di installare un termostato consente di evitare il problema della sonda di temperatura situata sulla testina del radiatore, la cui lettura della temperatura dell'aria della zona è influenzata dalla vicinanza al radiatore, causando un malfunzionamento del sistema. In questo modo, si effettua un controllo indipendente della temperatura in ogni zona con l'obiettivo di garantire il comfort individuale e di adattare il consumo della pompa di calore alle necessità termiche di ogni zona (figura 5).

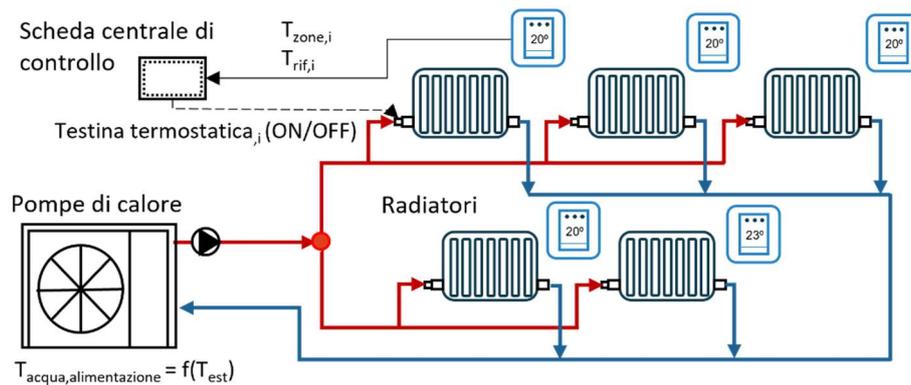


Figura 5. Sistema rinnovato: pompa di calore e radiatori ad alta temperatura con controllo zonificato

Si descrive l'installazione degli elementi di controllo nel dettaglio. La Figura 6 mostra un diagramma dei diversi elementi di controllo dell'impianto.

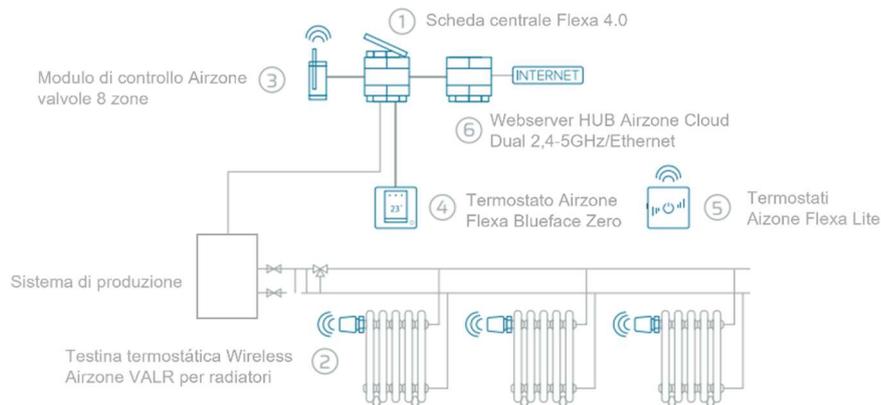


Figura 6. Schema di un sistema di controllo zonificato con radiatori e pompa di calore.

Il sistema Flexa 4.0 esegue il controllo a zona dei radiatori. Le testine termostatiche senza fili Airzone controllano la quantità di calore emessa dal radiatore in ciascuna zona dell'abitazione, garantendo la regolazione della temperatura di comfort determinata dall'utente. Il Webserver consente all'utente di mantenere un'interazione con il sistema di climatizzazione per stabilire i propri requisiti di comfort attraverso l'applicazione del sistema.

Implementazione dei modelli in TRNSYS

Il presente studio è stato realizzato utilizzando il programma TRNSYS18, un punto di riferimento per quanto riguarda la ricerca sugli impianti termoeenergetici. Su questa piattaforma di calcolo sono stati implementati i modelli matematici di tutti i sistemi di riscaldamento definiti nella sezione anteriore. Il sistema di controllo descritto nella sezione 2 è stato modellato mediante equazioni matematiche su un proprio modello che consente l'interazione con l'edificio e il resto degli elementi dell'ambiente di simulazione (figura 7).

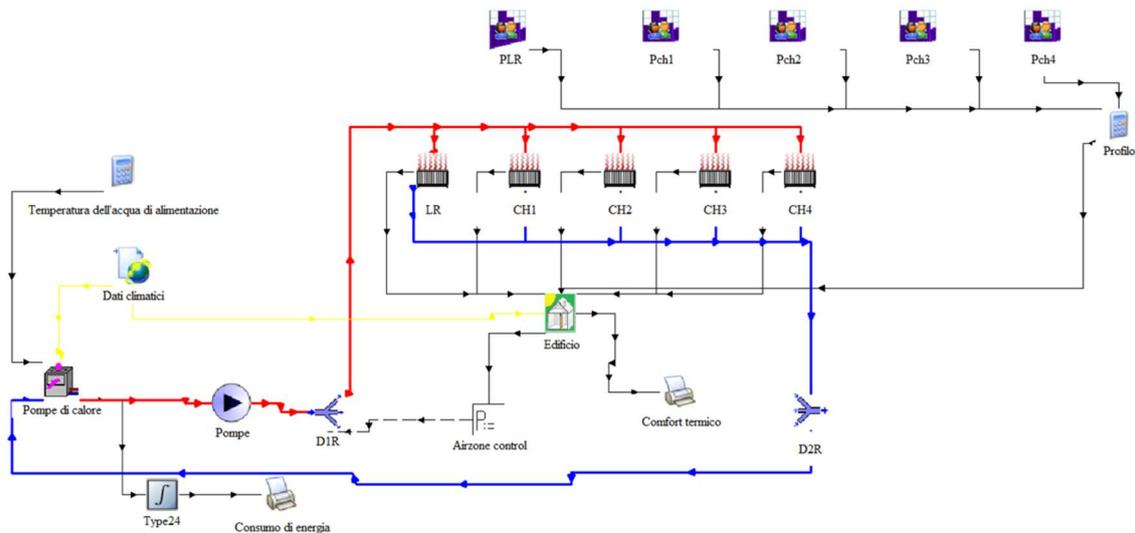


Figura 7. Montaggio semplificato del sistema di controllo in Trnsys.

Vale la pena evidenziare il modello di pompa di calore, che è stato sviluppato sulla base delle curve di funzionamento tipiche ottenute dai cataloghi dei costruttori. Inoltre, il modello consente di integrare la modifica dell'efficienza della macchina (COP) dovuta alla frazione di carico.

Risultati. Studio analitico

I risultati dello studio analizzano la convenienza del sistema di controllo idronico Airzone dal punto di vista del confort termico e del consumo energetico. Inoltre, viene condotto uno studio economico per valutare la fattibilità tecnico-economica.

Studio analitico

Si tratta di un'abitazione unifamiliare con una superficie totale di 120 m² che presenta cinque zone climatizzate: Salone-Cucina (SAL), Camera 1 (CH1) al piano terra, e le camere da letto Camera 2 (CH2), Camera 3 (CH3) e Camera 4 (CH4) al piano superiore (figura 8).

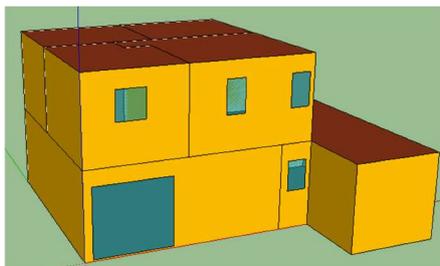


Figura 8. Rappresentazione 3D dell'abitazione.

L'abitazione è stata simulata per 3 città caratteristiche italiane: Milano, Roma e Bolzano, a seconda della severità climatica in inverno. Le temperature minime e massime nei mesi invernali di ciascuna di queste sono rappresentate nella tabella 1 [8].

		GEN	FEB	MAR	APR	OTT	NOV	DIC
Temperatura minima (°C)	Milano	-1	1	5	8	10	5	0
	Roma	3	3	6	8	12	7	4
	Bolzano	5	5	7	8	12	9	6
Temperatura massima (°C)	Milano	6	9	14	18	18	11	7
	Roma	12	13	16	20	21	15	11
	Bolzano	12	12	14	16	21	15	11

Tabella 1. Media mensile delle temperature massime e minime nei mesi di riscaldamento.

Sono stati considerati tre casi di isolamento per l'abitazione che rappresentano diversi scenari di carico termico: un isolamento elevato tipico delle nuove costruzioni definito dalle normative vigenti (AIS3), un edificio con isolamento medio (AIS2) e un edificio con isolamento basso, tipico delle abitazioni più datate (AIS1). Le proprietà degli involucri edilizi sono definite sulla base del coefficiente globale di trasferimento di calore di ciascun elemento costruttivo (U), come descritto nella tabella 2.

Superficie	AIS1	AIS2	AIS3
Parete esterna	1,14	0,56	0,18
Parete interna	0,88	0,60	0,215
Soffitto	0,88	0,60	1
Pavimento	0,40	0,24	0,26
Tetto	1,10	0,60	0,22
Finestra	5,68	2,90	1,3

Tabella 2. Caratteristiche termiche dei serramenti dell'edificio (U in W/m²K)..

Il sistema zonificato permette di non riscaldare le zone/stanze quando queste non siano occupate, è importante, quindi, determinare il profilo d'uso di ogni stanza (figura 9).

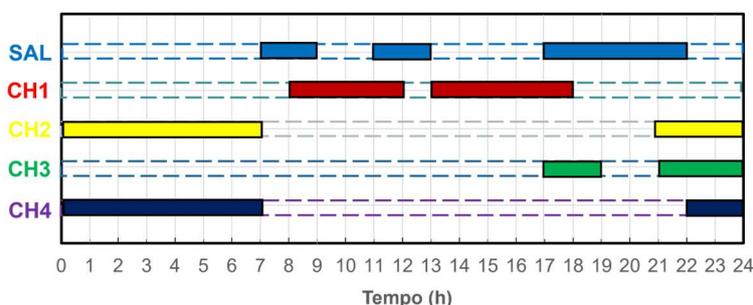


Figura 9. Profilo di occupazione dell'abitazione.

Si ritiene che nelle ore in cui non c'è occupazione, i radiatori continuino a funzionare, ma con impostazioni di temperatura più basse per evitare un eccessivo carico di riscaldamento. Il setpoint delle zone in riscaldamento è di 20 °C e 18 °C nei periodi in cui non vi è occupazione nelle zone. In questo modo, sono state dimensionate le unità in base ai carichi termici delle

zone per garantire che il sistema sia in grado di garantire le condizioni di comfort durante la stagione di riscaldamento.

Le unità di produzione selezionate sono una caldaia a gas convenzionale e la linea di pompe di calore Altherma HT (High Temperature) del costruttore Daikin [9] adatti all'uso con radiatori ad alta temperatura.

Résultats

I risultati ottenuti dalle simulazioni confronteranno i tre scenari di riscaldamento e controllo descritti nella sezione 2 (CALD, BDC e AIRZ) in termini di comfort, consumo elettrico e produzione di CO₂.

Inoltre, al termine della relazione verranno messe a confronto le valutazioni economiche. Il sistema con pompa di calore e controllo zonificato (AIRZ) verrà comparato con:

- 1) **Sistema con caldaia, radiatori e nessuna zonificazione (CALD).**
- 2) **Sistema a pompa di calore, radiatori e nessuna zonificazione (BDC).**

Confort thermique

I risultati di comfort non si concentrano esclusivamente sul confronto della temperatura di zona, ma viene proposta la valutazione del comfort secondo la norma UNE EN ISO 7730:2006 [10].

Parametri di comfort: PMV e PPD

In condizioni standard di comfort, associate al fattore abbigliamento, al tasso metabolico e alla velocità relativa dell'aria, si effettua un confronto dei parametri PPD e PMV di un sistema zonificato e di uno non zonificato.

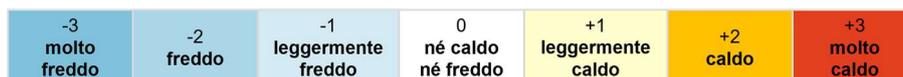


Figura 10. Scala PMV.

Il calcolo del PMV consente di stimare la sensazione termica del corpo umano nel suo insieme a partire dalla stima o dalla misurazione dei parametri che condizionano l'equilibrio termico globale del corpo: tasso metabolico del soggetto, isolamento degli indumenti, temperatura dell'aria, temperatura radiante media, velocità relativa dell'aria e umidità dell'aria.

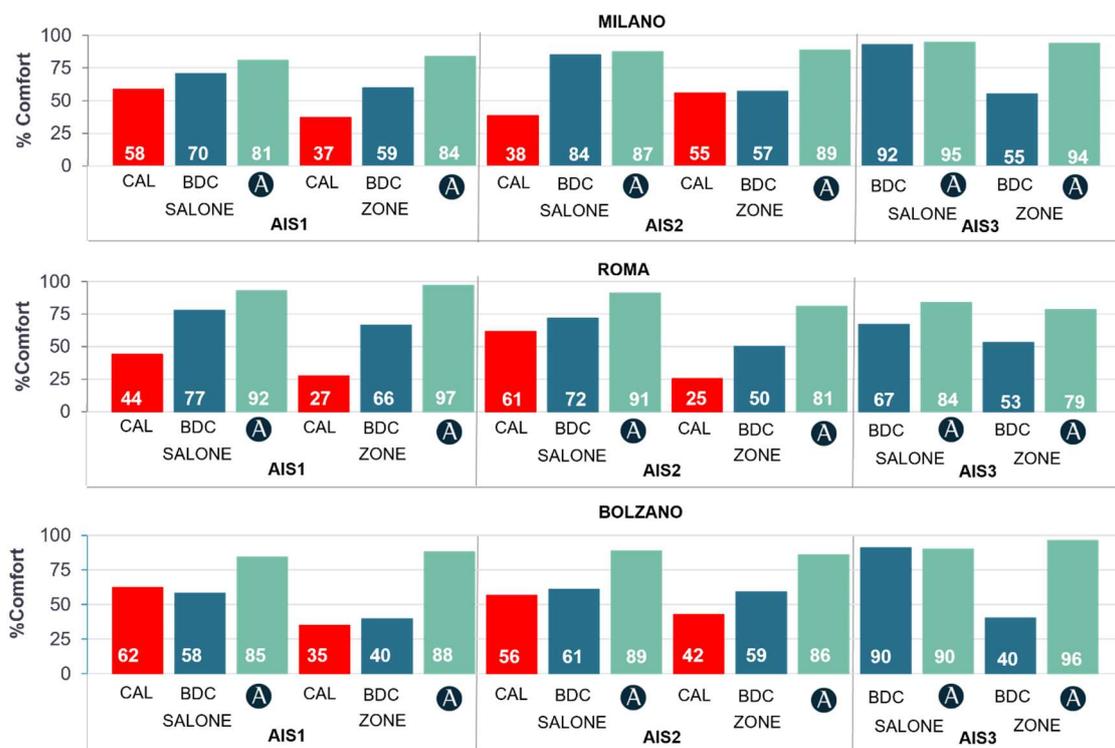
L'indice PPD (predicted percentage dissatisfied) fornisce informazioni sul disagio o insoddisfazione termica, attraverso la previsione quantitativa della percentuale di persone che probabilmente sentiranno troppo caldo o troppo freddo in un determinato ambiente. Il PPD può essere ottenuto a partire dal PMV.

Secondo la norma UNE EN ISO 7730:2006, i valori suggeriti per fornire un benessere termico globale al 90% degli utenti sono quelli riportati nella tabella 3.

CATEGORIA	PPD (%)	PMV
A	<6	-0,2 < PMV < 0,2
B	<10	-0,5 < PMV < 0,5
C	<15	-0,7 < PMV < 0,7

Tabella 3. Categorie dell'ambiente termico in base al PPD e al PMV.

Attualmente, le esigenze di comfort negli edifici sono elevate e si cerca di ottenere che la categoria raggiunta sia la B, specialmente negli edifici efficienti e sostenibili che ottengono certificazioni di tipo BREEAM o LEED [11]. La figura 11 mostra un confronto della percentuale di ore in cui le condizioni di comfort sono soddisfatte, sia nella zona master in cui è installato il termostato (Salone), sia per il resto delle zone termiche dell'abitazione (Zone). Si confrontano i risultati dei tre casi di studio: caldaia (CAL), pompa di calore non zonificata (BDC) e pompa di calore con sistema di controllo Airzone (AIRZ), per le tre città di studio e, in ciascuna, si includono i tre isolamenti abitativi proposti (AIS1, AIS2, AIS3).


Figure 11. Comparatif des systèmes, pour comparer les catégories de confort

In generale, si osserva come, in tutti i casi, le percentuali di comfort ottenute nel Salone siano più favorevoli che nel resto delle zone dell'abitazione. Inoltre, nei casi con pompa di calore e nei casi con zonificazione (BDC e AIRZ) dove c'è controllo, si ottengono percentuali maggiori che nel caso della caldaia (CAL). Ad esempio, si osserva che la caldaia ottiene percentuali di comfort intorno al 44-62% nel salone, mentre nei casi di controllo con pompa di calore le percentuali aumentano in un range del 60-92%.

Per quanto riguarda il controllo del comfort nel resto delle zone dell'abitazione, va notato come il controllo zonificato Airzone (AIRZ) ottenga risultati notevolmente più favorevoli nel resto delle zone rispetto al caso non zonificato (BDC) e alla caldaia (CAL). Ciò è dovuto alla regolazione delle valvole di ciascun radiatore in funzione della regolazione individuale delle

temperature in ciascuna zona dell'abitazione, che garantisce il comfort termico. Le percentuali di comfort con il controllo zonificato vanno dall'81-96% per il resto delle zone, mentre in quello non zonificato la percentuale media varia dal 40-66% e, nel caso della caldaia, scende al 25-55% perché non esiste alcun tipo di controllo. Nei casi BDC e CAL, senza controllo del resto delle zone, i risultati mostrano valori di PMV superiori a 1,5-2, il che comporta un inutile surriscaldamento dell'abitazione che porterà a un maggiore consumo energetico, come indicato nella seguente sezione.

Consumo energetico e studio ambientale

Consumo di energia elettrica della pompa di calore

Dopo aver valutato il comfort termico dell'edificio, il seguente passo consiste nel mettere a confronto il consumo energetico e lo studio ambientale. L'obiettivo è dimostrare che la strategia di controllo del sistema zonificato è più efficiente dal punto di vista del consumo energetico per la capacità di soddisfare efficacemente il fabbisogno termico di ciascuna delle zone, con un conseguente miglioramento delle prestazioni del sistema di produzione.

In primo luogo, si effettuerà un confronto dei casi BDC-AIRZ, in cui si analizza il consumo di energia elettrica della pompa di calore nelle tre città e per i tre livelli di isolamento dell'abitazione (figura 12). L'obiettivo è valutare l'influenza del sistema di controllo zonificato in termini di risparmio energetico (indicato in percentuale in figura).

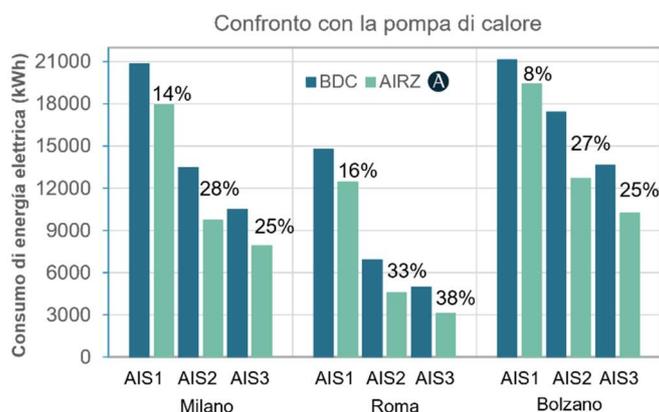


Figura 12. Confronto del consumo elettrico per i casi di pompa di calore.

In tutti i casi confrontati è possibile osservare come il consumo di energia elettrica di un impianto a pompa di calore e il sistema di controllo zonificato Airzone comportino un risparmio energetico rispetto al caso non zonificato, in cui il sistema è controllato dalla temperatura misurata nel salone. I risparmi vanno dall'8% al 38%, a seconda del tipo di clima e del livello di isolamento dell'abitazione. In tutti i casi si osserva come nelle abitazioni con un livello di isolamento più elevato il consumo energetico sia inferiore. Si nota anche che, a Bolzano, la città più fredda, si ha un maggior consumo energetico.

Emissioni di CO₂

Per fare un confronto con il caso della caldaia, si è scelto di effettuare un'analisi comparativa delle emissioni di CO₂ che rappresentano i tre casi di studio, poiché la caldaia ha un consumo energetico finale di gas naturale e non è direttamente comparabile con il consumo elettrico della pompa di calore. Per il calcolo delle emissioni di CO₂ si è tenuto conto dei coefficienti di conversione dall'energia finale alle emissioni di CO₂ secondo il rapporto dell'Istituto

Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) “Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico” [12] dove si ottengono i seguenti coefficienti: 0,261 kgCO₂/kWh per la pompa di calore e 0,208 kgCO₂/kWh per la caldaia a gas.

La figura 13 mostra lo studio ambientale con il confronto delle emissioni di CO₂ dei tre impianti di riscaldamento proposti (CALD, BDC e AIRZ), nelle tre città e con i tre livelli di isolamento abitativo. Inoltre, viene indicata la percentuale di risparmio nelle emissioni di CO₂ che l'impianto di pompa di calore comporta in primo luogo nel caso di controllo non zonificato rispetto alla caldaia e, in secondo luogo, la percentuale di risparmio con la pompa di calore e il sistema di controllo Airzone (AIRZ) rispetto alla caldaia. D'altra parte, l'aumento della percentuale di risparmio quando si installa un sistema di controllo zonificato aumenta in tutti i casi, ottenendo risparmi significativi di emissioni di CO₂ dal 24% al 68% rispetto al caso della caldaia per livelli di isolamento AIS1 e AIS2, rispettivamente.

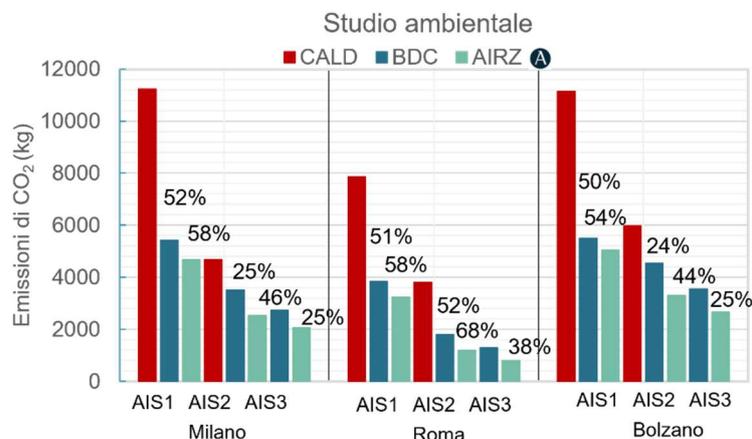


Figura 13. Studio ambientale. Confronto delle emissioni di CO₂

Studio economico. Ammortamento del sistema di controllo Airzone.

L'analisi economica si basa sul confronto tra l'investimento iniziale in unità di produzione e il sistema di controllo e i costi operativi del consumo del sistema di riscaldamento ottenuto nella simulazione. Da questi dati viene calcolato il tempo necessario per l'ammortamento del sistema di controllo Airzone. L'analisi viene eseguita per i casi: CALD-AIRZ (sostituzione della caldaia con una pompa di calore con controllo zonificato Airzone) e BDC-AIRZ (confronto del caso di pompa di calore con sistema di controllo non zonificato rispetto al controllo zonificato Airzone). La Tabella 4 mostra i costi delle unità ottenuti dai cataloghi dei costruttori, per il sistema convenzionale e per il sistema zonificato Airzone.

Costi (€)	Convenzionale	Airzone
Pompa di calore [9]	10500	10500
Controllo convenzionale	200	
Controllo Airzone	-	1758
<i>Pack Airzone Starter Connected Flexa 4.0 VALR</i>	-	440
<i>5 Testina termostatica Wireless Airzone VALR per radiatori</i>	-	290
<i>Termostato Airzone Flexa Blueface Zero</i>	-	270
<i>4 Termostati Flexa Lite</i>	-	744
<i>Webserver Hub Airzone Cloud Dual 2,4-5G – Ethernet</i>	-	304
Pompa di calore [9]	10500	10500
Totale	10700	12258

Tabella 4. Costi iniziali dei sistemi.

La tabella 4 mostra che il costo iniziale del sistema zonificato Airzone è superiore al sistema convenzionale a causa del costo degli elementi del sistema di controllo. Tuttavia, come mostrato nella tabella 5, gli anni di ammortamento del ritorno sull'investimento per i diversi casi di studio sono compresi tra 2 e 6 anni, periodi molto ragionevoli considerati economicamente sostenibili, a cui si aggiunge il miglioramento del comfort termico analizzato sopra e non quantificato in termini economici. I costi di esercizio sono stati calcolati per i casi comparativi con la pompa di calore (BDC-AIRZ) a partire dai consumi annuali di elettricità della pompa di calore ottenuti in figura 12 e dal costo del kWh elettrico per la pompa di calore, che è stato stimato in media a 0,23€/kWh negli ultimi mesi a causa delle grandi fluttuazioni di questo valore [13]. D'altra parte, per il caso comparativo con la caldaia (CALD-AIRZ), è stato utilizzato un valore di 0,07€/kWh come valore rappresentativo del costo del gas naturale in Italia negli ultimi mesi [13].

Isolamento	AIS1		AIS2		AIS3
	CALD-AIRZ	BDC-AIRZ	CALD-AIRZ	BDC-AIRZ	BDC-AIRZ
Milano	1,8	2,4	6,3	1,8	2,7
Roma	2,6	3,0	4,3	3,0	3,7
Bolzano	2,0	4,0	5,2	1,5	2,0

Tabella 5. Anni di ammortamento secondo i casi di studio

Va notato che il periodo di ammortamento del sistema di controllo si trova in periodi di ritorno sull'investimento economicamente ragionevoli, che variano intorno a 1,5-6,3 anni, dove il 66% dei casi è inferiore a 3 anni. D'altra parte, è importante sottolineare che l'influenza del tipo di abitazione, sebbene influenzi, non è determinante e che l'investimento è redditizio per le abitazioni con diversi livelli di isolamento.

Conclusioni

Il presente studio analizza in dettaglio le prestazioni del sistema di controllo zonificato dei radiatori con pompa di calore definito nel testo AIRZ come alternativa più idonea in una ristrutturazione dell'impianto di riscaldamento di un'abitazione residenziale. Questa soluzione (AIRZ) viene confrontata con gli altri due sistemi: una caldaia a gas naturale in un impianto senza controllo dei radiatori (CALD), e una pompa di calore con un sistema non zonificato (BDC).

Le conclusioni dello studio descrivono i principali vantaggi ottenuti nei diversi confronti effettuati in termini di comfort termico, consumo di energia elettrica, emissioni di CO₂ e analisi economica che permette di valutare il tempo di ammortamento del sistema di controllo. Le conclusioni sono le seguenti:

- 1| Il sistema di controllo zonificato controlla in modo indipendente la temperatura di ciascuna delle zone di un'abitazione, garantendo una percentuale di ore di comfort medio tra l'81-96% con valori di benessere termico molto favorevoli per gli utenti dell'edificio. Questo sistema viene confrontato con il caso di un sistema convenzionale in cui esiste un solo termostato in una zona master per regolare il funzionamento dell'impianto e che provoca surriscaldamento nel resto delle zone, con percentuali che scendono al 40-66% nel caso della pompa di calore e al 25-55% nel caso della caldaia.
- 2| Si valuta l'influenza del sistema di controllo zonificato per il caso della pompa di calore in termini di consumo di energia elettrica. I risparmi vanno dall'8% al 38%, a seconda del tipo di clima e del livello di isolamento dell'abitazione.
- 3| In relazione allo studio ambientale, l'aumento della percentuale di risparmio di emissioni di CO₂ è maggiore quando si installa un sistema di controllo zonificato, e si accentua per livelli di isolamento più elevati, nonché per i climi più freddi.
- 4| Sebbene inizialmente sia necessario effettuare un investimento iniziale nel sistema di controllo, si osserva attraverso lo studio economico che i tempi di ammortamento sono compresi tra 1,5 e 6 anni, periodi molto ragionevoli, considerati economicamente sostenibili. Il risparmio è maggiore poiché la severità climatica è più estrema, dove si ottengono tempi di ritorno più brevi. Va notato che, nel 66% dei casi studiati, il periodo di ammortamento è inferiore ai tre anni.

Références

- [1] TRNSYS <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>. (Accesso 28.12.23).
- [2] Commissione Europea. Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 relativa all'efficienza energetica. Gazzetta ufficiale delle Comunità europee (2012), L 315/1.
- [3] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy. Strasbourg 8.03.2022.
- [4] IEA (2022), The Future of Heat Pumps, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>, License: CC BY 4.0

- [5] European Commission, “Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast).” 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791>
- [6] Istat, L'abitazione delle famiglie residenti in Italia: Anno 2008. Statistiche inbreve: famiglia e società, Italian National Institute of Statistics, 2010.
- [7] EN 52120-1 Energy Performance of Buildings - Contribution of Building Automation, Controls and Building Management - Part 1: General Framework and Procedures
- [8] <https://es.weatherspark.com>
- [9] Catalogo Riscaldamento Daikin 2023.

https://www.daikin.it/it_it/privati/services/cataloghi-e-documentazione.html
- [10] UNE-EN 15377. Impianti di riscaldamento negli edifici. Progettazione di sistemi a incasso di riscaldamento e raffrescamento ad acqua. Ottobre 2008.
- [11] BRE, BREEAM offices 2008 assessor manual, BREEAM. Watford: BRE Global Ltd.; 2010.
- [12] Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) 2023.
- [13] Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA)
www.arera.it