

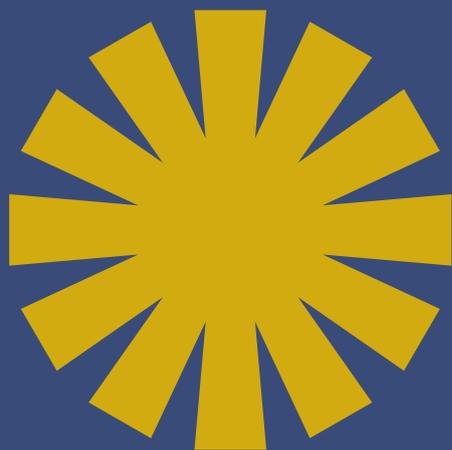
Marzo
2025

SPECIALE CALENDARIO 2025

**Sostenibilità e
riduzione CO₂**

L'ELETTRIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI TERMICI NEGLI EDIFICI RESIDENZIALI

Soluzioni in pompa di calore
per edifici esistenti



Autori:

Stefano Silvera - Edilclima

Laurent Socal - ANTA





L'ELETTRIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI TERMICI NEGLI EDIFICI RESIDENZIALI

Soluzioni in pompa di calore per edifici esistenti

SOMMARIO

COSA VUOL DIRE DECARBONIZZARE	4
PERCHÉ ELETTRIFICARE GLI IMPIANTI TERMICI?	6
IL CASO STUDIO	8
LA SOLUZIONE IN SOLA POMPA DI CALORE SENZA INTERVENTI SULL'INVOLUCRO	12
LA SOLUZIONE IN SOLA POMPA DI CALORE ABBINATA ALL'ISOLAMENTO DELL'INVOLUCRO	20
CONCLUSIONI	26

L'ELETTRIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI TERMICI NEGLI EDIFICI RESIDENZIALI

Soluzioni in pompa di calore per edifici esistenti

Cosa vuol dire decarbonizzare

Decarbonizzare è il nuovo obiettivo delle direttive europee in materia di energia (EED, EPBD, RES). L'Unione europea non è più preoccupata dall'esaurimento delle risorse energetiche ma della conseguenza sull'ambiente del rilascio di CO₂. Nella nuova direttiva EPBD (la famosa "case green") l'obiettivo non sarà più l'edificio a consumo quasi nullo (NZEB, nearly zero energy building) ma l'edificio ad emissione nulla (ZEmB, zero emission building). A dire il vero, nell'ultima versione (accordo informale di dicembre 2023 fra Parlamento europeo e Consiglio europeo), l'obiettivo è stato derubricato a "edificio ad emissione quasi nulla", forse anche per i motivi che sono di seguito descritti.

Cosa significa decarbonizzare?

Dal punto di vista globale della scelta delle fonti energetiche necessarie a coprire i fabbisogni di industria, edifici e trasporti, decarbonizzare vuol dire rinunciare alle fonti fossili, cioè non tenere conto delle prime tre righe della Tabella 1, dove sono riportate le **fonti energetiche** attualmente in uso ed alcune loro caratteristiche.

Fonte	Disponibilità	Caratteristiche	Evoluzione
Gas naturale	Elevata	Trasporto via gasdotto vincola la fornitura	Abbandono
Petrolio	Elevata	Trasporto consente scelta del fornitore	Abbandono
Carbone	Elevata	Emissioni controllabili solo su grandi impianti	Abbandono
Biomasse	Elevata	Impianti di produzione impegnativi, quantità limitate	Aumento
Idroelettrico	Elevata	Già sfruttati i siti interessanti	Stabile
Nucleare	Elevata	Problemi di accettazione da parte del pubblico.	?
Solare termico	Bassa	Produzione solo in loco. Disponibilità giornaliera ed estiva	Stabile
Solare fotovoltaico	Bassa	Produzione in loco. Disponibilità giornaliera e soprattutto in estate	Crescita
Eolico	Bassa	Legato alle condizioni climatiche locali, difficilmente prevedibile	Crescita
Geotermia	Elevata	Legato alla geologia locale. Quantità disponibile modesta.	Stabile

Tabella 1. Disponibilità, caratteristiche ed evoluzioni delle fonti energetiche

La colonna *Disponibilità* valuta il fatto che la fonte energetica sia disponibile nel momento del bisogno. Mentre gas, petrolio e GPL sono sempre disponibili ed accumulabili, altre come il fotovoltaico sono presenti solo di giorno, prevalentemente in estate ed in giorni sereni. La disponibilità limitata delle fonti a cui si intende ricorrere evidenzia il problema dell'accumulo di energia, operazione tutt'altro che facile ed economica. Per questo, fra i requisiti che definiscono i futuri edifici a zero emissioni, c'è anche quello di "contribuire alla flessibilità della domanda". Si tratta di un'espressione elegante per dire che arriveranno dal gestore di rete due segnali:

- divieto di prelevare energia nei periodi di punta dei carichi;
- obbligo di prelevare energia nei periodi di massima produzione da parte dei generatori della rete.

Oltre ad essere “flessibili”, per i singoli edifici, decarbonizzare vuol dire che anche nella lista dei **vettori energetici** oggi disponibili per alimentare gli impianti tecnologici occorre non tenere conto delle prime tre righe della Tabella 2.

Vettore	Caratteristiche
Gas naturale	Attualmente solo da fonte non rinnovabile. Può essere addizionato con biogas e/o idrogeno. Non sempre disponibile localmente.
Gasolio	Attualmente solo da fonte non rinnovabile. Può essere addizionato con biodiesel. Necessita il trasporto in loco su strada. Accumulabile localmente.
GPL	Da fonte non rinnovabile. Necessita trasporto in loco. Accumulabile localmente.
Energia elettrica	Nessuna emissione locale all'utilizzo. Impatto ambientale ed economico dipendente da come viene prodotta . Estrema flessibilità all'utilizzo (illuminazione, pompe di calore, trasporti, calore ad alta temperatura...). Facilmente trasportabile. Presente in tutti gli edifici. Può essere prodotta in loco. Costosa da accumulare (accumulo indispensabile solo in assenza di rete)
Biogas	Quantità disponibile limitata. Aggressivo verso gomme e metalli. Rimane l'emissione di NOx. Può essere distribuito attraverso la rete del metano.
Biodiesel	Quantità disponibile limitata. Aggressivo verso gomme. Rimane l'emissione di NOx e di polveri. La produzione può richiedere ancora quantità significative di energia non rinnovabile
Legna	Disponibile solo localmente. L'uso comporta emissioni inquinanti.
Idrogeno e combustibili di sintesi	Caratteristiche ambientali ed energetiche dipendenti da come viene prodotto. Può essere accumulato. Potrebbe essere utilizzato efficacemente in celle a combustibile. Utilizzabile in combustione per produrre calore ad alta temperatura.

Tabella 2. Caratteristiche dei vettori energetici

Gas naturale, gasolio e GPL sono destinati a sparire, è solo una questione di tempo.

Cosa resta? Fondamentalmente energia elettrica. Biogas, biodiesel e legna sono e saranno disponibili in quantità limitate ed il loro utilizzo comporta emissioni inquinanti locali.

L'idrogeno ed i combustibili di sintesi, il giorno in cui saranno disponibili in quantità industriale, ad un prezzo accettabile e da fonte primaria rinnovabile, dovrebbero essere inizialmente riservati ad applicazioni come i trasporti e la produzione massiva di calore ad alta temperatura (ad esempio, caldaie industriali a vapore) dove l'uso dell'energia elettrica sia difficile per questioni di accumulo energetico su mezzi mobili e/o di potenze elevate.

Appare quindi inevitabile nei prossimi anni una migrazione più o meno imposta verso l'uso esclusivo (salvo eccezioni minori) o quasi dell'energia elettrica per l'alimentazione degli impianti tecnologici negli edifici. Per fortuna si tratta di un vettore energetico disponibile ovunque ed estremamente versatile.

Se si scegliesse di decarbonizzare, in attesa di combustibili rinnovabili di sintesi, sarà necessario costruire rapidamente centrali elettriche, rinforzare l'intera rete elettrica e coibentare le case per ridurre il picco di potenza invernale, altrimenti rischiamo qualche problema di sovraccarico. Occorre infatti trasferire sulla rete elettrica tutti gli attuali consumi di combustibile per riscaldamento edifici e alimentazione dei veicoli. Se non ci sarà potenza disponibile l'edificio “all electric” sarà evidentemente nei guai.

Come ordine di grandezza, l'Europa è responsabile solo del 10% delle emissioni di CO₂ mondiali. Siccome la CO₂ non conosce confini (l'emissione di CO₂ è un fenomeno intrinsecamente globale), anche se ripuliamo in fretta il nostro angolo di mondo, l'effetto sarà trascurabile se il restante 90% del pianeta non fa altrettanto.

La sostenibilità comprende anche quella economica e sociale. Non è necessario sacrificarsi economicamente per essere i migliori senza risolvere globalmente il problema. La decarbonizzazione sarà un processo complesso e molto costoso. Avanti quindi verso l'elettrico ma con giudizio e nei tempi dovuti. Ciò comporta un buon carico di lavoro per i prossimi anni.

Perché elettrificare gli impianti termici?

Il futuro degli impianti termici vedrà quindi una graduale sostituzione del gas metano a favore dell'energia elettrica. Ciò significa elettrificare i servizi energetici dedicati alla produzione di riscaldamento e acqua calda sanitaria.

Il modo efficiente per produrre calore a bassa temperatura utilizzando il vettore elettrico è l'utilizzo della tecnologia delle pompe di calore. L'energia elettrica è il vettore energetico più pregiato: è priva di entropia, al pari dell'energia meccanica, ma è anche molto più versatile e facile da trasportare. Per rendersene conto, basta confrontare un cavo elettrico con un albero di trasmissione oppure provare a produrre un flusso luminoso partendo dall'energia meccanica invece di usare un LED. Utilizzarla in una resistenza elettrica deve essere riservato alla produzione di calore ad alta temperatura e/o per esigenze modeste e localizzate.

L'uso di una pompa di calore può moltiplicare i kWh disponibili per generare calore ad alta temperatura in quanto con pochi kWh elettrici si possono trascinare a forza molti kWh termici da una sorgente fredda verso l'oggetto o l'ambiente che intendiamo riscaldare. Sfruttando il ciclo frigorifero (Figura 1), la pompa di calore è in grado di assorbire calore da una "sorgente fredda" come l'aria esterna, l'acqua di falda, il terreno, ecc.. sotto forma di calore latente di evaporazione di un gas refrigerante. Successivamente, per mezzo di un compressore, il gas refrigerante viene compresso e trasferito alla "sorgente calda", dove il calore viene restituito sotto forma di calore latente di condensazione con l'aggiunta del lavoro fatto dal compressore.

Il ciclo richiede l'utilizzo di energia elettrica per far funzionare il compressore. Considerando tale consumo e l'energia termica che è in grado di trasferire alla sorgente calda, si possono ottenere efficienze pari al 300%, 400% o anche più, in funzione delle temperature delle sorgenti e del fattore di carico di lavoro della pompa di calore.

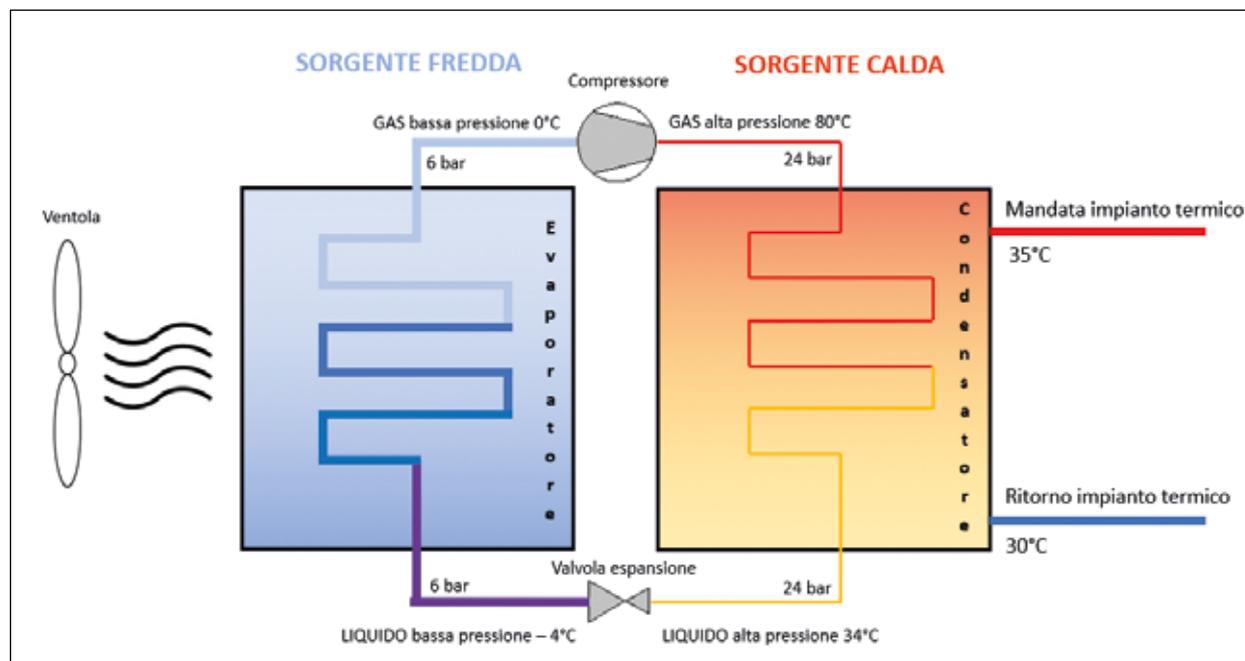


Figura 1. Ciclo frigorifero di una pompa di calore aria-acqua.

Il parametro fondamentale che quantifica l'efficienza di una pompa di calore è il Coefficiente di Prestazione (COP).

Il COP indica quanti kWh di energia termica è possibile trasferire all'impianto alimentando la pompa di calore con ogni kWh di energia elettrica. L'efficienza, così espressa, non può essere direttamente confrontata con quella di una caldaia alimentata a gas metano. Occorre normalizzare le efficienze ed è possibile farlo in differenti modi, ad esempio secondo il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile o secondo il costo energetico del vettore.

Focalizzandoci sulla sostenibilità, è possibile confrontare le emissioni di CO₂ ed il consumo di fonti energetiche non rinnovabili.

Nella Tabella 3, si riporta il confronto tra una pompa di calore con un COP pari a 3 ed una caldaia a condensazione con un'efficienza di generazione pari al 100%.

	Pompa di calore (COP = 3)		Caldaia condensazione ($\eta_{H_{gen}} = 100\%$)	
Energia termica resa	3	kWh	3	kWh
Energia in ingresso	1	kWh el.	3	kWh en. chimica gas metano
Fattore di emissione CO₂	0,46	kg/kWh	0,21	kg/kWh
CO₂	0,46	kg	0,63	kg
$f_{p,nren}$	1,95	-	1,05	-
Energia primaria non rinnovabile	1,95	kWh	3,15	kWh
$\eta_{H_{gen,p,nren}}$	153,8	%	95,2	%

Tabella 3. Confronto in termini di emissioni di CO₂ e di fabbisogno di energia primaria non rinnovabile tra una pompa di calore ed una caldaia a condensazione.

La pompa di calore con COP pari a 3 alimentata dalla rete elettrica italiana consente di ottenere un risparmio del 27% in termini di emissioni di CO₂ ed un risparmio del 38% di energia primaria non rinnovabile rispetto all'uso di una caldaia a condensazione alimentata da gas naturale. Ciò si traduce in un'efficienza di generazione, riferita al fabbisogno di energia primaria non rinnovabile ($\eta_{H_{gen,p,nren}}$) maggiore di 58,6 punti percentuali. Tali risparmi possono poi crescere ulteriormente nel caso in cui la pompa di calore riesca a lavorare con COP maggiori.

La presenza di un impianto fotovoltaico, eventualmente supportato da una batteria elettrica di accumulo, consentirebbe inoltre di alimentare in parte la pompa di calore con energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile. Questa, presenta un fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile ed un fattore di emissione relativo alla CO₂ nulli, ed è pertanto in grado di contribuire ulteriormente alla sostenibilità degli impianti termici alimentati con energia elettrica.

Lo stesso principio si applica anche alla valutazione di carattere economico, in cui la normalizzazione avviene rispetto al costo del vettore energetico. La valutazione è però soggetta ad una certa variabilità in quanto dipende dall'andamento dei prezzi dei vettori energetici.

Ipotizzando un costo dell'energia elettrica pari a 0,25 €/kWh ed un costo del gas metano pari a 0,85 €/Nm³ possiamo ottenere quanto riportato in Tabella 4.

	PdC COP = 3		Caldaia condensazione $\eta_{H_{gen}} = 100\%$	
Energia termica resa	3	kWh	3	kWh
Energia in ingresso	1	kWh el.	0,317 *	m ³
Costo vettore energetico	0,25	€/kWh	0,85	€/ Nm ³
Costo	0,25	€	0,27	€

Tabella 4. Confronto in termini di costo del vettore energetico tra una pompa di calore ed una caldaia a condensazione (* ipotizzando PCI metano = 9,94 kWh/Nm³, 3 kWh di energia chimica di metano corrispondono a: 0,317 Nm³)

Considerando un COP pari a 3, possiamo aspettarci una riduzione sui costi del vettore energetico pari a circa l'8%. Il risparmio economico è comunque inferiore, in termini percentuali, rispetto a quanto determinato nei confronti delle emissioni di CO₂ e del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile.

Anche in questo caso, riuscire a far lavorare la pompa di calore con un COP maggiore, supportata eventualmente da un impianto fotovoltaico e batteria di accumulo, consente di ridurre il prelievo di energia elettrica da rete incrementando ulteriormente il risparmio economico.

L'efficienza della pompa di calore e l'eventuale contributo di un impianto fotovoltaico sono quindi il vero motivo per cui l'elettrificazione dei servizi energetici risulta essere più sostenibile ed economicamente conveniente. Questo è sicuramente vero e più facilmente realizzabile in caso di edifici nuovi, demoliti e ricostruiti o ampiamente ristrutturati. La possibilità di avere un involucro isolato, caratterizzato da una bassa domanda energetica, unito all'utilizzo di impianti termici a bassa temperatura, come i pannelli radianti a pavimento o a soffitto, consentono alla pompa di calore, se ben progettata e dimensionata, di lavorare al meglio.

Ma per quanto riguarda gli edifici esistenti, magari non soggetti a miglioramenti dell'involucro, cosa si può fare? È possibile elettrificare un edificio esistente riscaldato da un impianto a radiatori? La risposta merita un approfondimento, che andremo ad analizzare utilizzando un caso studio.

Il caso studio

L'edificio preso in considerazione è una villetta unifamiliare esistente, disposta su un unico livello fuori terra, con una superficie utile di 130 m² (Figura 2). Le pareti sono in laterizio non isolato, con una trasmittanza di circa 0,9 W/m²K. Il soffitto disperde verso una soffitta non climatizzata che, data la sua importante superficie e conseguente dispersione, è stata nel tempo isolata con 8 cm di lana di roccia. I serramenti sono dotati di doppio vetro, telaio in legno e persiane. L'impianto termico è affidato a dei radiatori alimentati da una caldaia tradizionale a temperatura di mandata fissa (70°C), mentre la produzione di acqua calda sanitaria è istantanea.

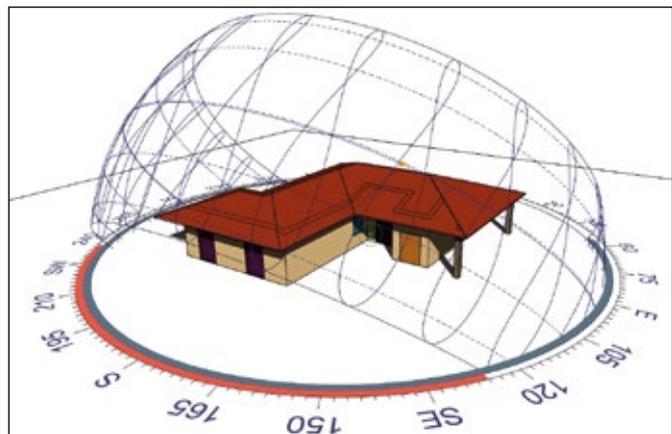


Figura 2. Pianta e rendering tridimensionale della villetta residenziale utilizzata come caso studio e realizzato con il software Edilclima EC700 - Calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici.

La prima verifica da effettuare per valutare la possibilità di installare una pompa di calore, riguarda la presenza di spazi idonei al posizionamento dell'unità esterna e dell'unità interna, la quale dovrà essere dotata anche di un bollitore o di un serbatoio di accumulo dedicato alla produzione di acqua calda sanitaria.

Il posizionamento dell'unità esterna deve inoltre assicurare un impatto acustico limitato, tale da non essere fastidioso per il proprietario e per eventuali altre unità immobiliari poste nelle vicinanze.

L'eventuale scelta di una pompa di calore che utilizza propano (R290) come gas refrigerante, impone poi misure più stringenti per il suo posizionamento rispetto alle unità esterne che utilizzano altri gas refrigeranti non infiammabili. Sicuramente questi vincoli rendono più agevole il posizionamento di una pompa di calore nel contesto residenziale come una villetta. Le complicazioni aumentano nei condomini con impianti centralizzati o autonomi, dove la scarsità di spazi idonei potrebbe impedire l'installazione di una pompa di calore.

Una volta individuati gli spazi idonei al posizionamento, occorre procedere con l'analisi energetica del sistema edificio-impianto. Quest'analisi viene solitamente condotta da un progettista qualificato. Attraverso un rilievo dettagliato dell'edificio e del suo impianto, unito all'utilizzo consapevole di un software di calcolo come Edilclima EC700 - Calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, sarà possibile valutare la fattibilità di utilizzo della pompa di calore e determinarne la taglia più corretta.

Non esistono scorciatoie o soluzioni standard da copiare e incollare in diversi contesti. L'impianto in pompa di calore va prima di tutto progettato. Senza questo importante step, il rischio di avere a che fare con un impianto malfunzionante in futuro, può essere alto.

Nella fase di rilievo, è importante verificare le dimensioni dei radiatori per calcolare con precisione la potenza effettivamente installata.

Calcolo potenza radiatori

Tipo di calcolo: Dimensionale

Elenco radiatori

Radiatore	Potenza	Quantità
Cucina - soggiorno 1	2905	1
Bagno 1	801	1
Bagno 2	1470	1
Lavanderia	1470	1
Disimpegno 1	1566	1
Disimpegno 2	1566	1
Camera 1	2714	1
Camera 2	2714	1
Cucina - soggiorno 2	2905	1

+ Nuovo
 Duplica
 Elimina
 + Copia da ...
 Crea elenco locali

Tipologia e dimensione radiatore

Radiatore: Cucina - soggiorno 1

Larghezza: 1500 mm
 Altezza: 750 mm
 Profondità: 75 mm
 Coeff. caratteristico: 24800 W/m²
 Alluminio
 Mediamente alettato

Potenza ΔT 60°C: 2905 W
 Quantità: 1

Potenza circuito ΔT 60°C: 18110 W

Ricalcolo potenza

Temp. mandata: 70,0 °C
 Temp. ritorno: 60,0 °C
 Temp. media: 65,0 °C

ΔT lato aria: 45,0 °C
 ΔT lato acqua: 10,0 °C

Potenza circuito ΔT lato aria: 12459 W

Figura 3. Rilievo e calcolo della potenza realmente installata dei radiatori effettuato con il software Edilclima EC700 - Calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici.

Dal rilievo si ottiene una potenza dei radiatori riferita ad un ΔT lato aria pari a 60°C che, nel caso in esempio, risulta essere pari a 18,11 kW (Figura 3). L'impianto funziona però con una temperatura di mandata fissa pari a 70°C . Ipotizzando un ΔT lato acqua pari a 10°C , la temperatura media del radiatore sarà pari a 65°C pertanto il ΔT lato aria scende a 45°C . In questa situazione, i radiatori rilevati emetteranno al massimo una potenza pari a 12,46 kW.

Nella simulazione dello stato di fatto, occorre definire il funzionamento dell'impianto. Poiché attualmente non si tratta di un calcolo finalizzato alla verifica dei requisiti minimi o alla redazione di un attestato di prestazione energetica, è necessario considerare il reale profilo di utilizzo dell'impianto. Nello specifico, l'impianto viene attivato per 14 ore al giorno e spento per le restanti ore. La regolazione della temperatura interna ai locali climatizzati è gestita da un cronotermostato di zona, mentre il generatore di calore è una caldaia tradizionale, posizionata in centrale termica, con una potenza nominale di 26 kW.

Procediamo quindi con l'analisi dei risultati di calcolo ottenuti, relativi ai fabbisogni energetici e ai rendimenti dei sottosistemi impiantistici.

Servizio riscaldamento (risultati stagionali)				
$Q_{H,nd}$	20.776	kWh	$EP_{H,nd}$	152,70 kWh/m ² anno
$\eta_{H,em}$	92	%		
$\eta_{H,rg}$	93	%		
$\eta_{H,du}$	94	%		
$Q_{H,gen,out}$	22.809	kWh		
$\eta_{H,gn,ut}$	85,6	%		
$Q_{H,gen,in}$	26.643	kWh		
$Q_{H,P,nren}$	28.182	kWh	$EP_{H,nren}$	207,13 kWh/m ² anno
Consumo gas	26.80	Nm ³	Costo	2.278 €/anno
Consumo e.el	106	kWh	Costo	27 €/anno

Tabella 5. Principali risultati di calcolo per il servizio riscaldamento dello stato di fatto dell'edificio.

La domanda energetica per il riscaldamento degli ambienti ($Q_{H,nd}$) è pari a 20.776 kWh annui, corrispondenti ad un fabbisogno energetico per unità di superficie utile ($EP_{H,nd}$) pari a 152,70 kWh/m² anno. Questo fabbisogno viene soddisfatto dall'impianto termico, il quale è composto da sottosistemi, ciascuno caratterizzato da una propria efficienza. I radiatori, installati sulle pareti esterne non isolate, hanno un'efficienza del 92% ($\eta_{H,em}$), la regolazione del 93% ($\eta_{H,rg}$) mentre la rete di distribuzione del 94% ($\eta_{H,du}$).

Queste perdite comportano che il generatore debba immettere nella rete di distribuzione una quantità di energia maggiore rispetto a quella richiesta dall'involucro. Questa quantità è rappresentata dal $Q_{H,gn,out}$ ovvero l'energia in uscita dal generatore, che risulta essere pari a 22.809 kWh.

Il generatore di calore è una caldaia tradizionale e presenta un valore di efficienza del 85,6% ($\eta_{H,gn,ut}$). È così possibile determinare l'energia in ingresso al generatore di calore $Q_{H,gn,in}$ (rappresentata dall'energia chimica contenuta del gas metano) che risulta pari a 26.643 kWh.

La caldaia presenta inoltre un consumo elettrico dovuto al funzionamento del bruciatore e della pompa di circolazione, pari a 106 kWh.

Moltiplicando questi fabbisogni per i fattori di conversione in energia primaria non rinnovabile $f_{P,nren}$ (1,05 per il gas metano e 1,95 per l'energia elettrica) sarà possibile determinare il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile del servizio ($Q_{H,P,nren}$), pari a 28.182 kWh e corrispondente ad un $EP_{H,nren}$ di 207,13 kWh/m² anno.

Considerando infine i costi dei vettori energetici, pari rispettivamente a 0,85 €/Nm³ per il gas metano e 0,25 €/kWh per l'energia elettrica, è possibile stimare il costo del servizio, che ammonta a 2.305 € all'anno.

Lo stesso ragionamento può essere applicato anche per la produzione di acqua calda sanitaria, che viene prodotta in maniera istantanea.

Servizio acqua calda sanitaria (risultati stagionali)				
$Q_{W,sys,out}$	2.156	kWh		
$\eta_{W,er}$	100	%		
$\eta_{W,du}$	92,6	%		
$\eta_{W,s}$	-	%		
$Q_{W,gen,out}$	2.329	kWh		
$\eta_{W,gn,ut}$	94,1	%		
$Q_{W,gen,in}$	2.470	kWh		
$Q_{W,p,nren}$	2.604	kWh	EPW_{nren}	19,14 kWh/m ² anno
Consumo gas	248	Nm ³	Costo	211 €/anno
Consumo e.el.	5	kWh	Costo	1,25 €/anno

Tabella 6. Principali risultati di calcolo per il servizio acqua calda sanitaria dello stato di fatto dell'edificio.

Per concludere, è possibile determinare la **classe energetica dell'edificio**. È importante chiarire che la metodologia di calcolo da adottare è diversa da quella condotta finora. È infatti necessario adottare il **calcolo regolamentare secondo la valutazione A1 (Design Rating)** definita dalla norma UNI TS 11300.

Questa modellazione consente di effettuare una valutazione standardizzata delle prestazioni energetiche dell'edificio, rendendole confrontabili tra più edifici e con classificazioni energetiche determinate in funzione dell'edificio di riferimento.

Nel nostro caso studio, la principale differenza riguarda l'impostazione della modalità di funzionamento dell'impianto termico. Se nell'analisi dello stato di fatto era stato impostato un funzionamento con spegnimento, nel calcolo finalizzato alla determinazione della classe energetica, l'impianto deve funzionare in modo continuo assicurando una temperatura interna costante di 20°C, per l'intera durata della stagione di riscaldamento, 24 ore su 24.

Ciò comporta un aumento del fabbisogno energetico in riscaldamento rispetto a quello reale determinato, che classifica l'edificio in classe E.

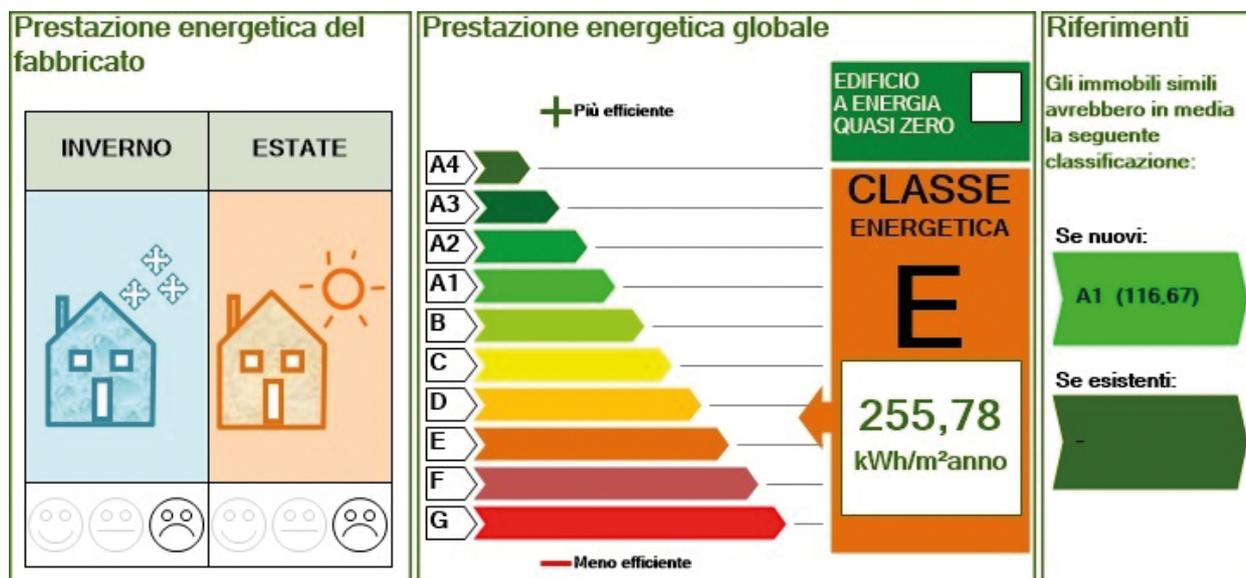


Figura 4. Classe energetica dell'edificio nello stato di fatto.

La soluzione in sola pompa di calore senza interventi sull'involucro

Dopo aver simulato ed analizzato lo stato di fatto, è possibile procedere con le valutazioni relative all'eventuale utilizzo della pompa di calore. Ipotizziamo quindi di **progettare un intervento che riguardi la sola parte impiantistica, senza intervenire sull'involucro**. Si tratta dell'intervento meno invasivo da realizzare per l'elettrificazione dei servizi, ma sarà possibile individuare una soluzione valida dal punto di vista pratico?

La simulazione energetica può dare risposta a questa domanda, ma occorre chiarire preventivamente alcuni aspetti che devono essere concordati con il cliente.

Prima di tutto occorre verificare se sia possibile alimentare l'impianto e soddisfare il fabbisogno energetico in riscaldamento, con temperature di mandata inferiori. L'impianto originale funziona con una temperatura di mandata fissa pari a 70°C, eccessivi per una pompa di calore.

Esistono sul mercato **pompe di calore "ad alta temperatura"** che, in alcune condizioni, consentono di raggiungere i 70-75 °C di temperatura di mandata. Queste macchine sfruttano il propano (R290) come fluido refrigerante. Tuttavia, nonostante riescano a raggiungere tali temperature, presentano prestazioni energetiche (COP) meno favorevoli rispetto ad un loro funzionamento a temperature inferiori. Sarebbe pertanto un errore equiparare una pompa di calore ad alta temperatura a una caldaia, ipotizzando una sua sostituzione senza adeguate verifiche e interventi sull'impianto.

Indipendentemente dal tipo di gas refrigerante usato dalla pompa di calore, è prima di tutto necessario ridurre le temperature di mandata. Per farlo, senza intervenire sull'involucro, è necessario agire sulla regolazione dell'impianto e sul suo tempo di funzionamento.

Come noto, l'energia è il prodotto della potenza per il tempo. Aumentando il tempo di funzionamento dell'impianto, è possibile soddisfare un determinato fabbisogno energetico impiegando una potenza minore.

Nel caso di radiatori, ciò significa che aumentando il loro tempo di funzionamento sarà possibile utilizzarli a temperature medie più basse, alimentandoli di conseguenza con temperature di mandata inferiori.

Occorre pertanto passare ad un **funzionamento in continuo dell'impianto**, il quale prevede che il set point di temperatura interna (ad esempio 20°C) venga mantenuto costante per l'intera giornata, senza alternarlo a periodi di spegnimento. Eventualmente è possibile considerare una leggera attenuazione, ad esempio una regolazione a 19°C durante le ore notturne.

Oltre a modificare il tempo di funzionamento dell'impianto, occorre agire anche sulla **termoregolazione**. La pompa di calore dovrà essere dotata di sonda climatica esterna, in modo tale da ridurre la temperatura di mandata nei periodi meno freddi. Completa la regolazione l'installazione di valvole termostatiche sui radiatori.

In questo modo, i radiatori, che nello stato di fatto lavoravano per 14 ore al giorno a una temperatura di mandata fissa di 70°C, possono essere alimentati con le temperature medie di mandata rappresentate in Figura 5.

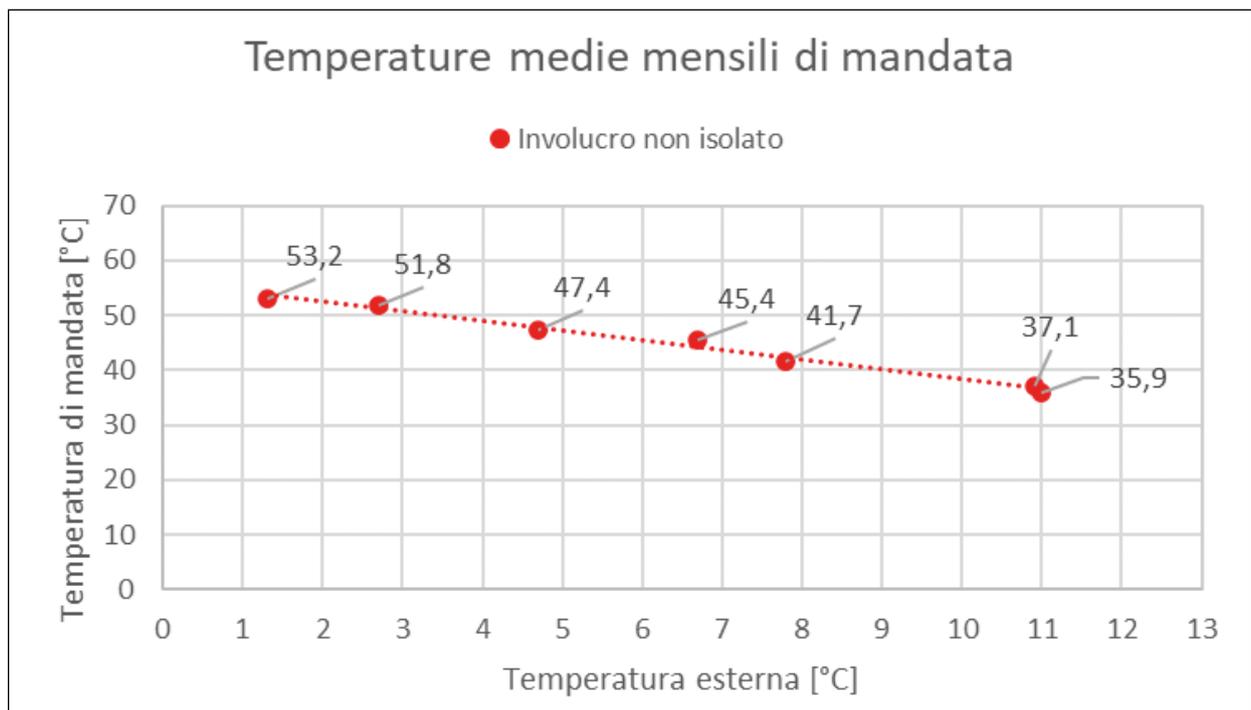


Figura 5. Temperatura medie di mandata ai radiatori con funzionamento dell'impianto in continuo.

Così facendo le temperature medie di mandata risultano comprese fra i 36°C ed i 54°C.

Pur essendo inferiori ai 70°C rimangono comunque delle temperature significative per pompe di calore idroniche che utilizzano gas largamente diffusi come l'R32 o l'R410.

In questo caso è meglio optare per una pompa di calore che utilizza il gas R290, il quale offre prestazioni migliori a temperature elevate (tabella 7).

Temp est. [°C]	COP PdC R32 T. mandata 60°C	PdC COP R290 T. mandata 65°C
-7	1,95	2,11
2	2,16	2,50
7	2,57	2,83
12	2,77	3,01

Tabella 7. Confronto tra le prestazioni nominali di una pompa di calore con gas R32 e una pompa di calore con gas R290.

La simulazione energetica consente di approfondire ulteriormente l'analisi calcolando le temperature di mandata richieste in un singolo BIN. Il BIN è definito dalla Specifica Tecnica UNI/TS 11300-4 e indica la frequenza oraria con cui si verifica una determinata temperatura esterna in un mese o nell'intera stagione di calcolo. In Figura 6, sono riportate le temperature di mandata previste nel mese di gennaio, che variano da un minimo di 43°C fino ad un massimo di 70°C.

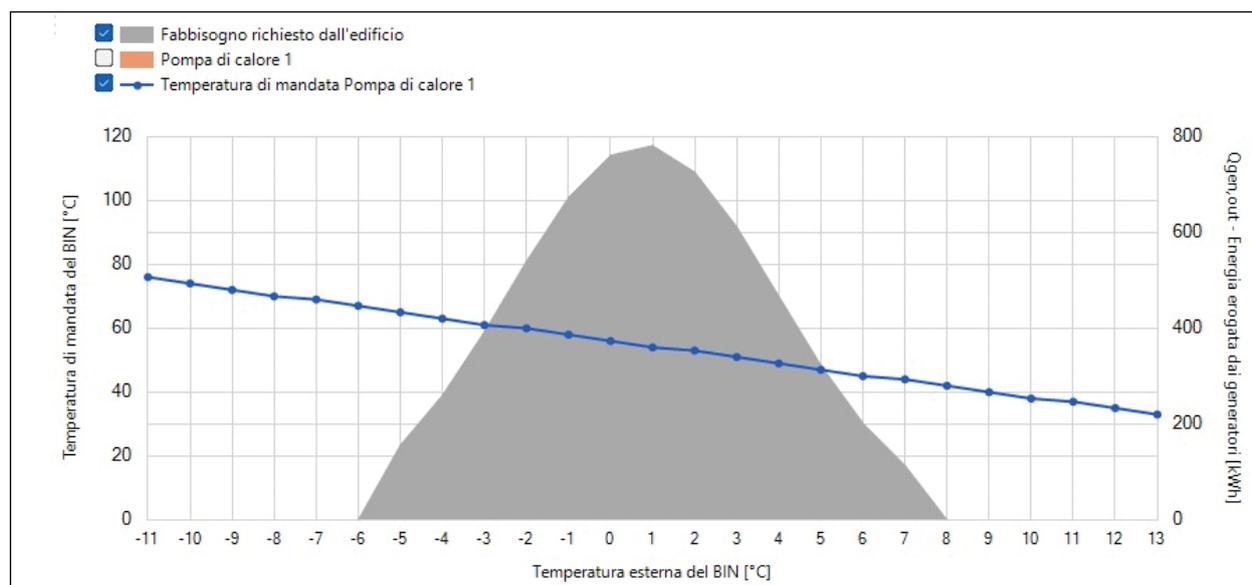


Figura 6. Andamento delle temperature di mandata e del carico energetico per i BIN del mese di gennaio.

Se le temperature di mandata risultassero ancora troppo elevate o per valutare una loro riduzione in modo da consentire un funzionamento più efficiente della pompa di calore, è possibile **intervenire direttamente sui radiatori**. Sostituendoli, anche parzialmente, con terminali più potenti (previa verifica delle dimensioni delle tubazioni della rete di distribuzione) sarà possibile abbassare ulteriormente la temperatura media di lavoro e, di conseguenza, la temperatura di mandata.

Dopo aver verificato che l'impianto può essere alimentato con temperature di mandata compatibili con un funzionamento efficiente della pompa di calore, si può procedere con il suo dimensionamento, ovvero alla **scelta della sua taglia**. Tale operazione risulta essere differente rispetto all'approccio solitamente seguito per le caldaie. Per le caldaie, infatti, il dimensionamento viene eseguito quasi esclusivamente in "potenza" affidandosi al calcolo secondo la norma UNI EN 12831. Questo **metodo risulta essere molto cautelativo**: valuta la potenza in riscaldamento nelle condizioni di picco, considerando le perdite per trasmissione e ventilazione alla temperatura esterna minima di progetto e non considera alcun tipo di apporto interno o solare. **Questo metodo è valido per dimensionare i terminali dell'impianto ma non per dimensionare una pompa di calore** che risulterebbe sovradimensionata per gran parte della stagione di riscaldamento.

Per le caldaie questo problema è meno rilevante; hanno un costo ridotto rispetto al kW di potenza e presentano ampi campi di modulazione, ovvero la capacità di fornire all'impianto la quantità di potenza effettivamente richiesta, evitando cicli di funzionamento on-off, caratterizzati da continue accensioni e spegnimenti, noti come "pendolamenti".

Per le pompe di calore occorre invece utilizzare una **metodologia di calcolo più raffinata**, che consenta di non sovradimensionarne la taglia. Le pompe di calore hanno un costo per kW di potenza ben più alto rispetto alle caldaie e presentano minori capacità di modulazione. Una macchina sovradimensionata, oltre a costare di più, lavorerebbe per un maggior numero di ore con un funzionamento on-off, riducendo la sua efficienza oltre a compromettere alla lunga il funzionamento del compressore.

Il metodo di calcolo da utilizzare per il dimensionamento della pompa di calore è quello della firma energetica.

La firma energetica è un grafico che mette in relazione la temperatura esterna con la potenza richiesta dall'edificio. Questa potenza viene determinata attraverso il calcolo energetico. Partendo dall'energia richiesta in uscita dal sottosistema di generazione ($Q_{H,gn,out}$) si può ottenere il valore di potenza media mensile, dividendo l'energia per il prodotto tra il numero di ore giornaliere di funzionamento dell'impianto e il numero di giorni mensili. Rappresenta quindi quella potenza che, se erogata per il numero di ore giornaliere di attivazione dell'impianto per l'intero mese, sarà in grado di soddisfare il fabbisogno energetico mensile in riscaldamento. I valori di potenza rappresentati sulla firma energetica tengono conto anche degli apporti interni e solari.

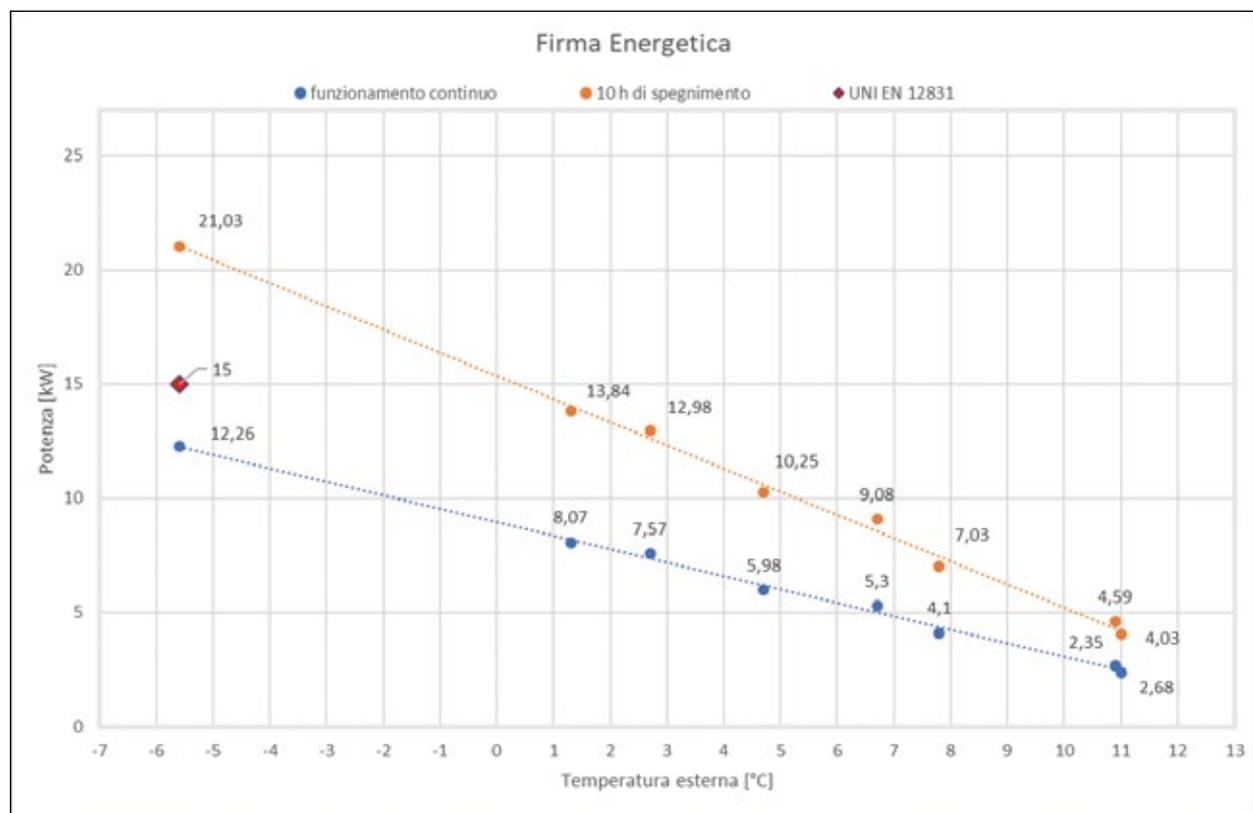


Figura 7. Firma energetica in riscaldamento per un funzionamento in continuo e con spegnimento dell'impianto ricavata dalla simulazione energetica mensile.

Dalla firma energetica di Figura 7, si può notare come nel mese più freddo (gennaio), caratterizzato da una temperatura media mensile di 1,3°C, sia sufficiente una potenza termica di 8,07 kW che, erogata in continuo, sarà in grado di coprire il fabbisogno energetico mensile.

Sul grafico, oltre alla firma energetica relativa al funzionamento in continuo, è riportata anche la **firma energetica per un funzionamento dell'impianto con 10 ore di spegnimento**. Risulta evidente come il voler soddisfare il fabbisogno energetico dell'impianto, considerando un funzionamento con spegnimento, richieda livelli di potenza decisamente più alti, che sebbene siano più alti, non sono problematici per la caldaia.

Le comuni caldaie istantanee presentano potenze per il riscaldamento attorno ai 24 kW con possibilità di modulare la propria po-

tenza fino ad un 10% di tale valore. In questa situazione, la caldaia sarà in grado di gestire sia un funzionamento con spegnimento che un funzionamento continuo dell'impianto, fornendo la potenza effettivamente richiesta dall'impianto grazie alle sue capacità di modulazione.

Dal calcolo di **potenza secondo la norma UNI EN 12831**, le informazioni che si ottengono sono meno significative. Per l'edificio oggetto di calcolo infatti è stata determinata una potenza di circa 15 kW a $-5,6^{\circ}\text{C}$ di temperatura esterna. Si tratta di un valore di picco, che nulla dice sul comportamento dell'edificio durante la stagione di riscaldamento.

Anche con la firma energetica, tracciando la linea di tendenza tra i punti, è possibile ottenere un'indicazione sulla potenza richiesta nelle condizioni di picco. Estendendola infatti alla temperatura esterna di progetto, si può determinare la potenza di picco derivante dal calcolo energetico, la quale risulta essere, almeno per il funzionamento in continuo dell'impianto, sempre inferiore rispetto a quella determinata secondo la norma UNI EN 12831 (in questo caso è pari a 12,26 kW). Il principale motivo è dovuto al fatto che la potenza calcolata con la firma energetica, tiene in considerazione gli apporti interni e solari, che contraddistinguono il calcolo energetico. La differenza tra potenza di picco derivante dal calcolo energetico e quella derivante dal calcolo secondo UNI EN 12831 è tanto più marcata quanto maggiori sono gli apporti interni e solari.

Sovrapponendo alla firma energetica la potenza erogata dalla pompa di calore, possiamo notare importanti differenze tra un dimensionamento basato sulla potenza ed un dimensionamento basato sull'energia. Il grafico di Figura 8, mostra la **copertura del carico di una pompa di calore dimensionata in potenza**: a $-5,6^{\circ}\text{C}$ di temperatura esterna, fornisce una potenza di 15 kW con una temperatura di mandata di 55°C .

La pompa di calore generalmente si comporta in maniera contraria rispetto alla richiesta di potenza dell'edificio: all'aumentare della temperatura esterna, cresce la potenza che è in grado di erogare. Le capacità di modulazione sono solitamente pari al 30% della potenza nominale e pertanto, a partire da una certa temperatura esterna, la macchina non sarà più in grado di modulare ed inizierà ad intervallare dei cicli di funzionamento on-off.

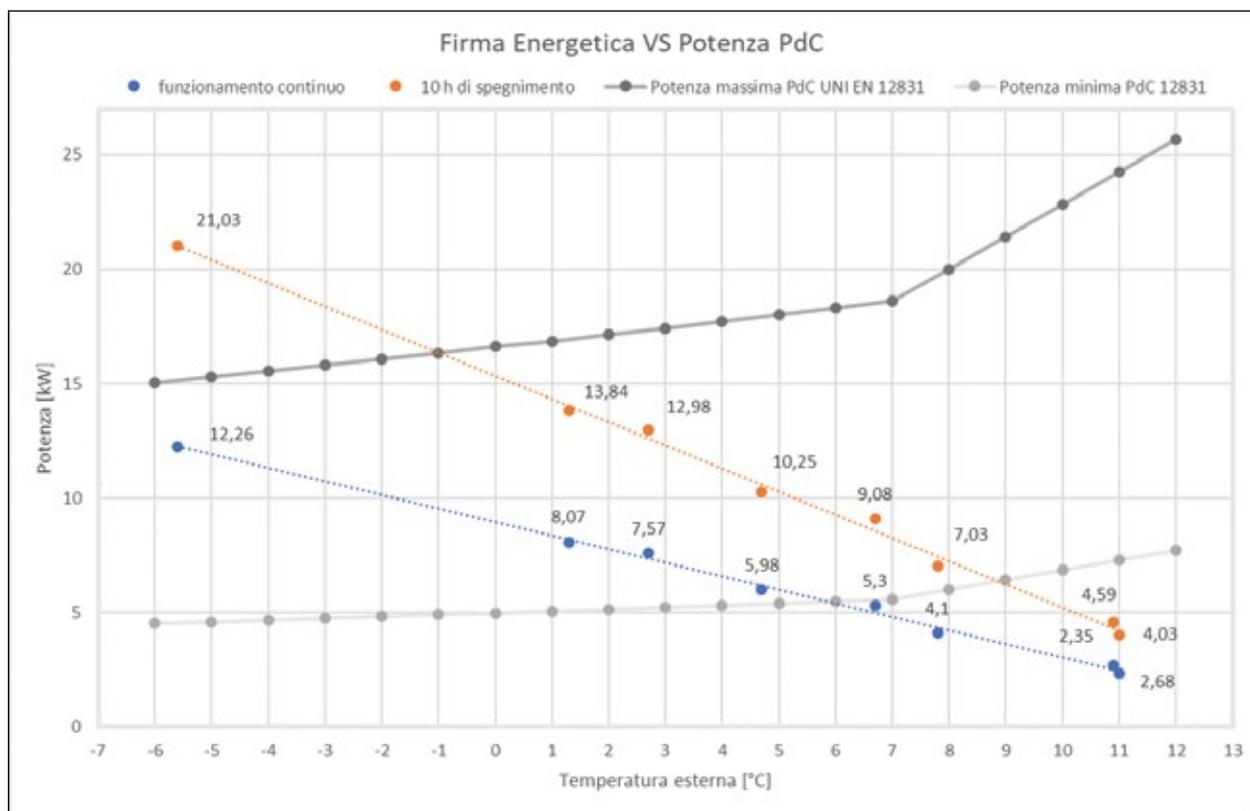


Figura 8. Confronto tra firma energetica e pompa di calore dimensionata in potenza.

In caso di macchina dimensionata in potenza, si può osservare come, indicativamente al di sopra dei 6°C di temperatura esterna, quest'ultima non sia più in grado di modulare. In questo caso, per ridurre tale regime di funzionamento, potrebbe essere sensato valutare, solo per questo periodo, l'adozione di un funzionamento dell'impianto con spegnimento. Analizzando infatti la firma energetica riportata relativa al funzionamento con spegnimento (Figura 8), possiamo osservare che l'incontro con la potenza minima della pompa di calore avviene al di sopra dei 9°C. Inoltre, tale funzionamento potrebbe avvenire esclusivamente nelle ore diurne, andando a massimizzare l'autoconsumo dell'impianto fotovoltaico.

Possiamo analizzare anche la quantità di carico energetico gestita dalla pompa di calore funzionante con un regime on-off. Dal grafico di Figura 9, risulta pari a circa il 20%.

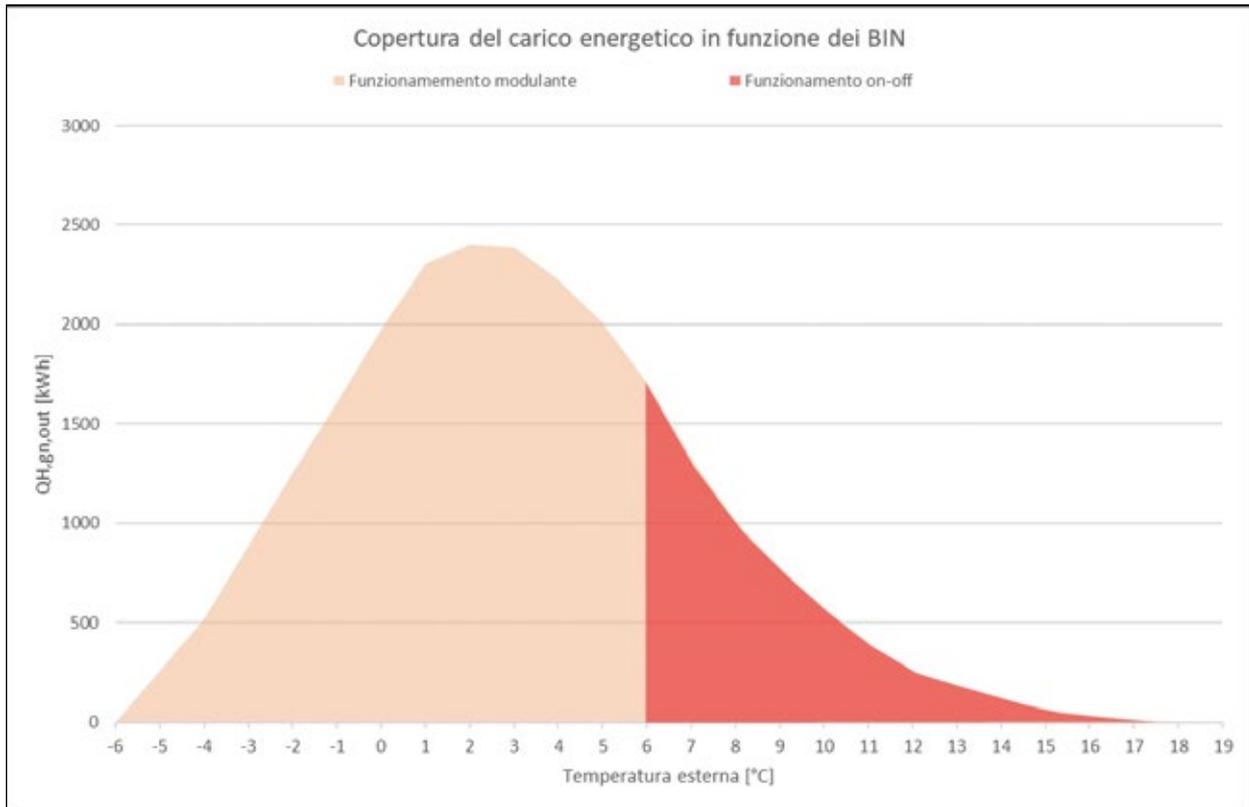


Figura 9. Copertura del carico energetico in modulazione e con regime on-off.

Un dimensionamento meno cautelativo, volto a individuare una taglia inferiore della pompa di calore, può essere quello rappresentato nel grafico di Figura 10.

La curva della potenza minima della pompa di calore interseca la firma energetica in funzionamento continuo a circa 8,5°C di temperatura esterna. Ciò implica che la pompa di calore sarà in grado di coprire un carico energetico maggiore senza pendolamenti. In pratica, solo il 10% del carico energetico rimane interessato da questo tipo di funzionamento (rispetto al 20% del dimensionamento in potenza).

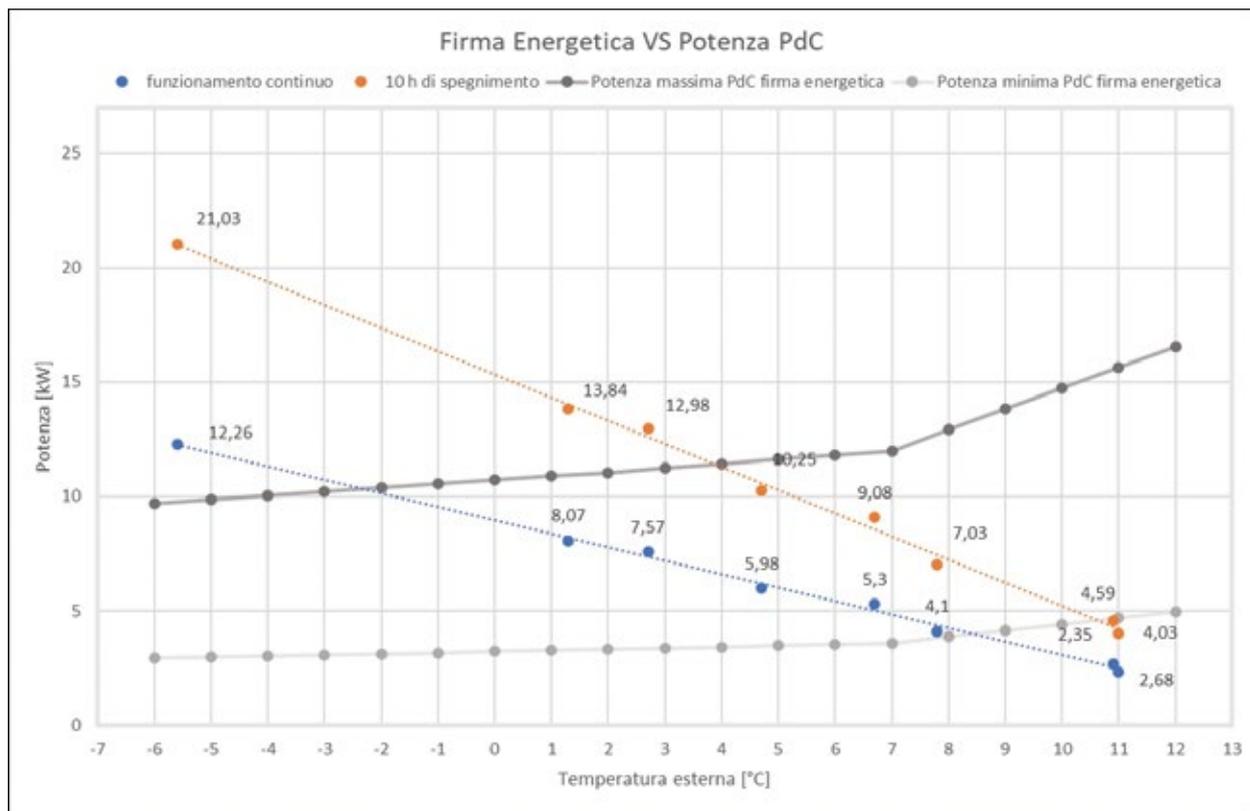


Figura 10. Confronto fra firma energetica e pompa di calore dimensionata in energia.

Osservando la curva della potenza massima presente in Figura 10, si nota che al di sotto di -2°C la potenza erogata dalla pompa di calore risulta inferiore rispetto a quella richiesta dall'edificio.

La macchina sembrerebbe sottodimensionata ma in realtà non è così.

Potendo contare su un funzionamento in continuo dell'impianto e sull'inerzia dell'involucro, o per meglio dire sulla sua costante di tempo, tale carenza non sarà di fatto significativa. L'importante è che la pompa di calore abbia la capacità di coprire abbondantemente il fabbisogno del mese di gennaio (8,07 kW a $1,3^{\circ}\text{C}$ esterni e con una temperatura di mandata di 55°C) senza necessariamente arrivare a coprire la potenza determinata nelle condizioni di picco.

Il surplus di potenza rispetto alla condizione di gennaio è necessario per coprire eventuali periodi particolarmente freddi o caratterizzati da una carenza di apporti gratuiti non prevedibili tramite il calcolo energetico.

In sostanza, la scelta della taglia della pompa di calore deve essere compresa **tra la copertura del mese di gennaio come valore minimo e la copertura alle condizioni di picco come valore massimo**. Lo spostamento verso un valore piuttosto che un altro dipende dalle caratteristiche dell'involucro. Più questo è isolato e dotato di una costante di tempo elevata e più la pompa di calore potrà essere dimensionata sulla potenza media mensile di gennaio; viceversa, per involucri meno isolati, con una costante di tempo più bassa, che quindi risentono più rapidamente delle condizioni climatiche esterne, sarà opportuno valutare una taglia più vicina alle condizioni di picco.

In ogni caso, per garantire una maggiore sicurezza, è possibile dotare la pompa di calore di una resistenza elettrica ad integrazione. È molto semplice, perché di ridotte dimensioni e solitamente integrata dai costruttori nei sistemi in pompa di calore. La resistenza elettrica è in grado di fornire quei kW aggiuntivi che mancano alla pompa di calore per coprire situazioni particolari in cui la sua potenza non risulta sufficiente.

Il suo eventuale impiego deve però verificarsi per poche ore all'anno: la resistenza elettrica, lavorando per effetto Joule, presenta un'efficienza molto bassa e pertanto dovrà soddisfare carichi energetici molto limitati.

Possiamo quindi visualizzare sul grafico della firma energetica quattro diversi campi di lavoro che contraddistinguono il funzionamento della pompa di calore (Figura 11).

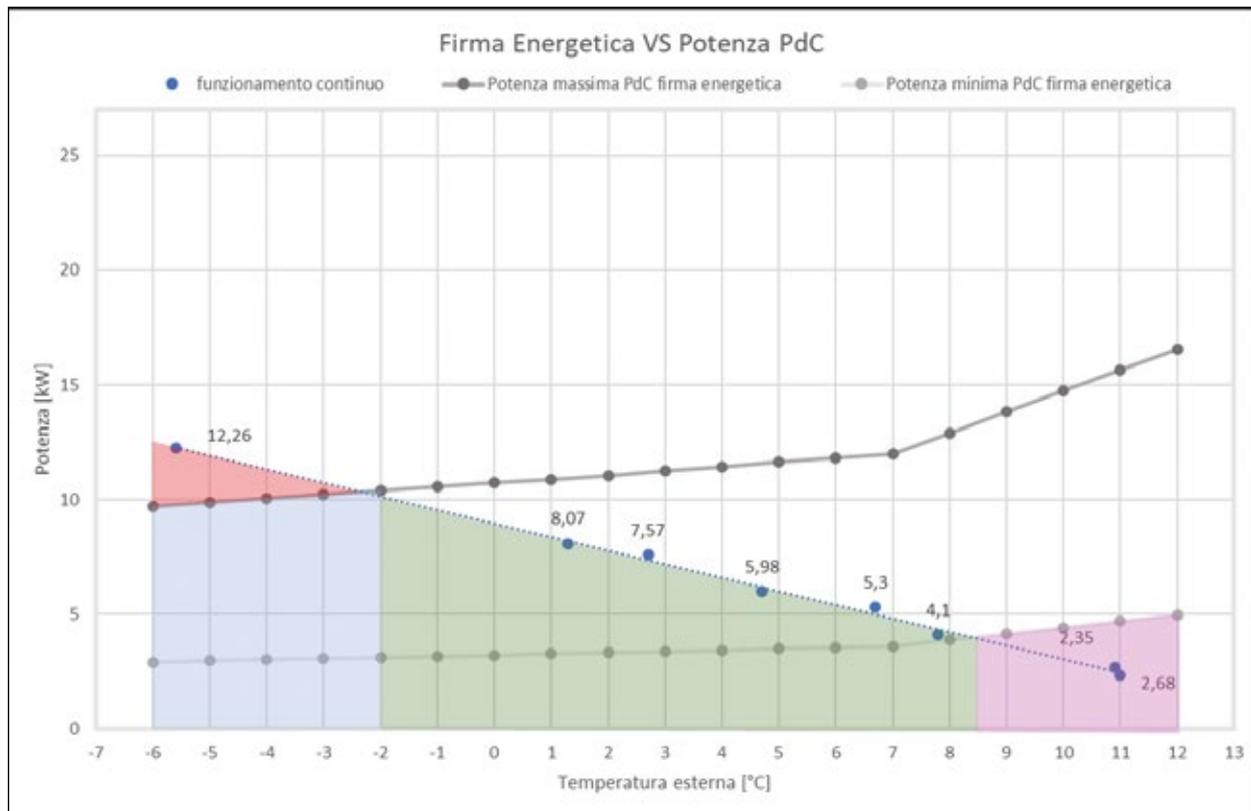


Figura 11. Campi di funzionamento della pompa di calore in funzione della firma energetica dell'edificio.

L'**area di colore rosso** indica il campo in cui la potenza richiesta dal fabbricato è maggiore rispetto a quella che la pompa di calore è in grado di erogare. Questa zona può essere coperta da un eventuale resistenza elettrica ad integrazione oppure può restare scoperta in caso di involucro dotato di una buona costante di tempo.

L'**area di colore azzurro** identifica il campo di lavoro in cui la pompa di calore lavora a pieno carico, esprimendo la sua massima potenza.

L'**area di colore verde** indica il campo di lavoro in modulazione, dove la pompa di calore riesce a lavorare in maniera continuativa fornendo la potenza richiesta dall'edificio.

L'**area di colore rosa** indica il campo di lavoro della pompa di calore caratterizzato dai "pendolamenti", in cui la potenza richiesta dall'edificio risulta essere inferiore rispetto alla potenza minima che la pompa di calore è in grado di erogare.

Nel caso in cui si desiderasse effettuare un'analisi ancora più approfondita sul dimensionamento della pompa di calore, è possibile eseguire una simulazione dinamica oraria secondo la norma UNI EN ISO 52016-1.

Questa simulazione consente di definire profili orari specifici per il funzionamento dell'impianto, per il fattore di occupazione degli ambienti e per l'entità degli apporti interni e di calcolare la potenza richiesta dall'involucro per ogni singola ora, correlandola di conseguenza ad una specifica temperatura esterna.

È quindi possibile **costruire il grafico della firma energetica basato sulla simulazione dinamica oraria** (Figura 12).

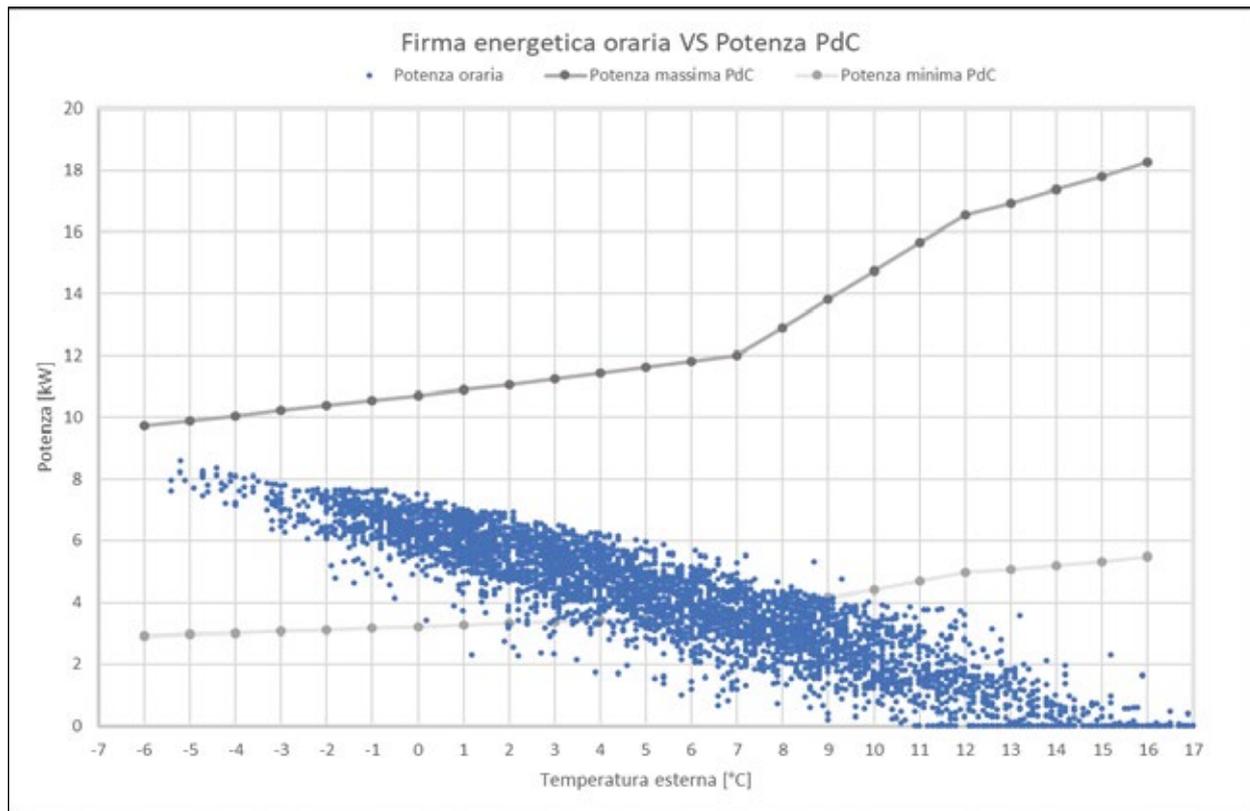


Figura 12. Confronto tra firma energetica oraria e pompa di calore dimensionata in energia.

Disponendo di un maggior livello di dettaglio sull'utilizzo dell'edificio, la simulazione dinamica oraria può fornire risultati più precisi e meno cautelativi rispetto alla seppur soddisfacente simulazione mensile semistazionaria.

In questo caso, la taglia della pompa di calore, che sembrava dover richiedere la presenza di una resistenza elettrica ad integrazione da utilizzarsi in eventuali periodi di emergenza, risulta invece pienamente sufficiente per soddisfare le necessità dell'involucro anche nelle ore più critiche. È interessante notare anche come le potenze calcolate a temperature inferiori ai -2°C siano sostanzialmente poche e quindi poco significative per il dimensionamento della macchina.

Il risultato di questa simulazione, oltre che confermare la potenza determinata con la simulazione mensile, potrebbe addirittura suggerire la possibilità di provare ad effettuare una simulazione utilizzando una pompa di calore di taglia inferiore.

Passiamo ora ad analizzare i risultati di calcolo riportati nella Tabella 8.

	PdC dimensionata in potenza	PdC dimensionata in energia
$\eta_{H,gn,ut}$	295,5 %	346,3 %
$\eta_{H,gn,p,nren}$	151,5 %	177,6 %
Consumo	8.278 kWh el.	7.064 kWh el.
Costo	2.069 €/anno	1.766 €/anno

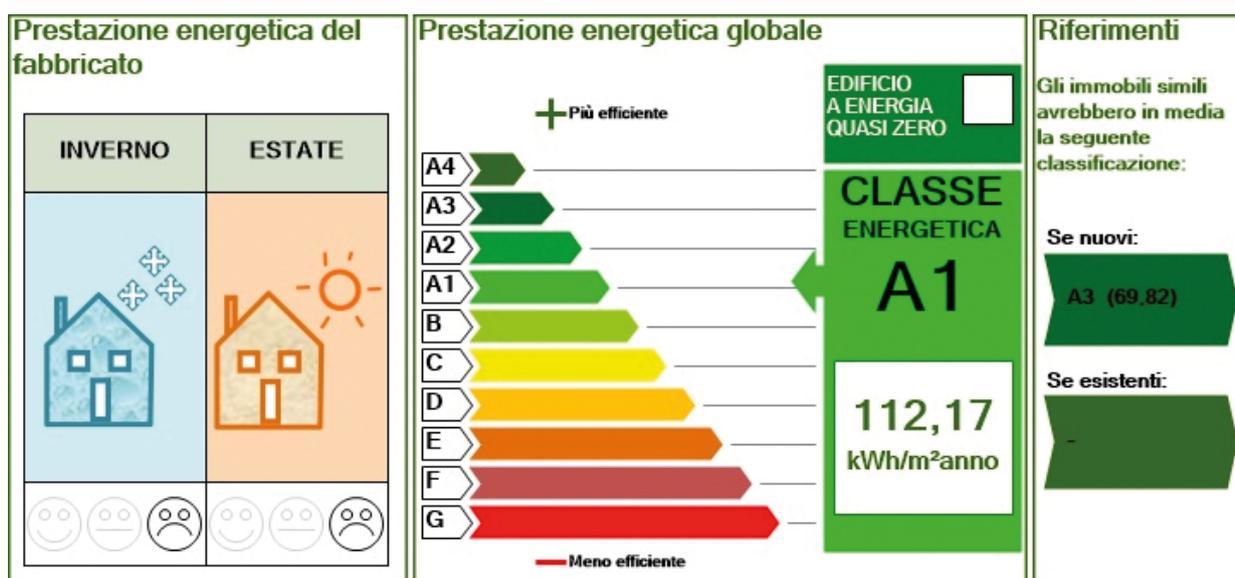
Tabella 8. Confronto tra efficienze e consumi.

I maggiori pendolamenti di cui soffre la pompa di calore dimensionata in potenza, si traducono in una riduzione della sua efficienza di generazione ($\eta_{H,gn,ut}$). Stagionalmente, la sua efficienza risulta essere inferiore di 50,8 punti percentuali rispetto alla pompa di calore dimensionata in energia e comporta una spesa stagionale per il servizio riscaldamento più alta di circa 300,00 €.

A ciò va aggiunto il maggior costo di acquisto di una pompa di calore più potente ed una riduzione della vita utile del compressore che sarà costretto a lavorare con un maggior numero di cicli on-off.

Per quanto riguarda la produzione di acqua calda sanitaria, le differenze non sono così rilevanti. Il reintegro dell'accumulo è prioritario rispetto al riscaldamento; quando necessario, la pompa di calore lavora unicamente per tale scopo. La differenza che si può riscontrare non è pertanto nell'efficienza, bensì nella tempistica di reintegro dell'accumulo. **Più la pompa di calore è potente, più rapido sarà il reintegro dell'accumulo.** Occorre pertanto valutare attentamente il fabbisogno di acqua calda sanitaria, poiché da esso dipenderà la volumetria dell'accumulo e la conseguente superficie dello scambiatore al suo interno.

La pompa di calore dimensionata in energia, unita ad una corretta regolazione dell'impianto è in grado di posizionare l'edificio in classe A1 (vedi Figura 13).



Il miglioramento di classe rispetto allo stato di fatto (Classe E con $EP_{gl,nren} = 255,78$ kWh/m²anno) è significativo, soprattutto considerando che l'intervento si limita alla sostituzione del generatore di calore con regolazione climatica esterna e all'installazione delle valvole termostatiche sui radiatori. Per comprenderne appieno il motivo di questo miglioramento, è necessario approfondire il calcolo. La classe E dell'edificio nello stato di fatto, è compresa tra 233,34 kWh/m² anno e 303,34 kWh/m²anno: l'edificio si colloca quindi all'inizio della classe E, poco distante dalla classe D.

Il limite tra la classe A1 e la classe B è invece pari a 116,67 kWh/m², molto vicino ai 112,17 kWh/m²a della simulazione con pompa di calore. Se lo stato di fatto fosse stato più centrato all'interno della classe E, l'adozione di una pompa di calore avrebbe classificato l'edificio in classe B, riducendo il salto classe ma non la rilevanza dell'intervento.

È importante sottolineare l'efficacia della soluzione con pompa di calore nel ridurre il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile.

	Stato di fatto con caldaia tradizionale		Intervento con PdC dimensionata in energia	
$\eta_{H,g,p,nren}$	64,5	%	152,9	%
$\eta_{W,g,p,nren}$	82,8	%	128,8	%
$EP_{H,nren}$	236,65	kWh/m ² anno	99,86	kWh/m ² anno
$EP_{W,nren}$	19,14	kWh/m ² anno	12,31	kWh/m ² anno
$EP_{gl,nren}$	255,78	kWh/m ² anno	112,17	kWh/m ² anno

Tabella 8. Confronto fra efficienze e indicatori per comprendere il miglioramento di classe tra stato di fatto e soluzione in pompa di calore.

Per completare le nostre valutazioni, andiamo a dotare l'edificio di un **impianto fotovoltaico**. Tutte le simulazioni sin qui svolte erano prive di fotovoltaico, poiché l'impianto in pompa di calore deve essere efficiente anche in sua assenza. L'installazione di un impianto fotovoltaico rappresenta un importante contributo aggiuntivo per ridurre il prelievo di energia elettrica da rete e il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile.

Il suo dimensionamento deve essere eseguito in funzione della superficie disponibile di copertura (possibilmente esposta nel quadrante sud e priva di ombreggiamenti) e del consumo di energia elettrica dell'edificio, che dovrà tenere conto anche degli assorbimenti elettrici della pompa di calore. In assenza di analisi approfondite e di calcoli dedicati, solitamente si ricade in impianti monofase con taglie inferiori ai 6 kW.

Abbiamo quindi ipotizzato l'installazione di un impianto fotovoltaico disposto su tre sottocampi distinti, opportunamente configurati in base alla forma del tetto. Due sottocampi sono stati posizionati sulle falde orientate a sud, ciascuno con quattro pannelli, mentre un terzo sottocampo è posizionato a ovest, con sette pannelli.

La potenza di picco di ciascun pannello è di 400 W, per un **totale di 6 kW di potenza installata**.

La norma UNI/TS 11300-4 fornisce la metodologia di calcolo per determinare la producibilità mensile di energia elettrica prodotta dall'impianto, che risulta essere pari a 6.047 kWh annui.

L'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico viene utilizzata per compensare i fabbisogni di energia elettrica dei servizi energetici presenti nella simulazione energetica dell'edificio ovvero riscaldamento ed acqua calda sanitaria. La compensazione avviene su un bilancio mensile, dove l'energia elettrica prodotta mensilmente dal fotovoltaico viene distribuita in funzione dei fabbisogni di energia elettrica del riscaldamento e della produzione di acqua calda sanitaria.

Va tuttavia segnalato che tale compensazione non avviene a livello orario, ma mensile, e la sua validità è pertanto rilevante ai soli fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile e della classe energetica dell'edificio.

L'installazione dell'impianto fotovoltaico porta la classe energetica dell'edificio da una classe A1, con un $EP_{gl,nren} = 112,17 \text{ kWh/m}^2$ anno (vedi Figura 13) ad una classe A2, con un $EP_{gl,nren}$ di $81,69 \text{ kWh/m}^2$ anno (vedi Figura 14).

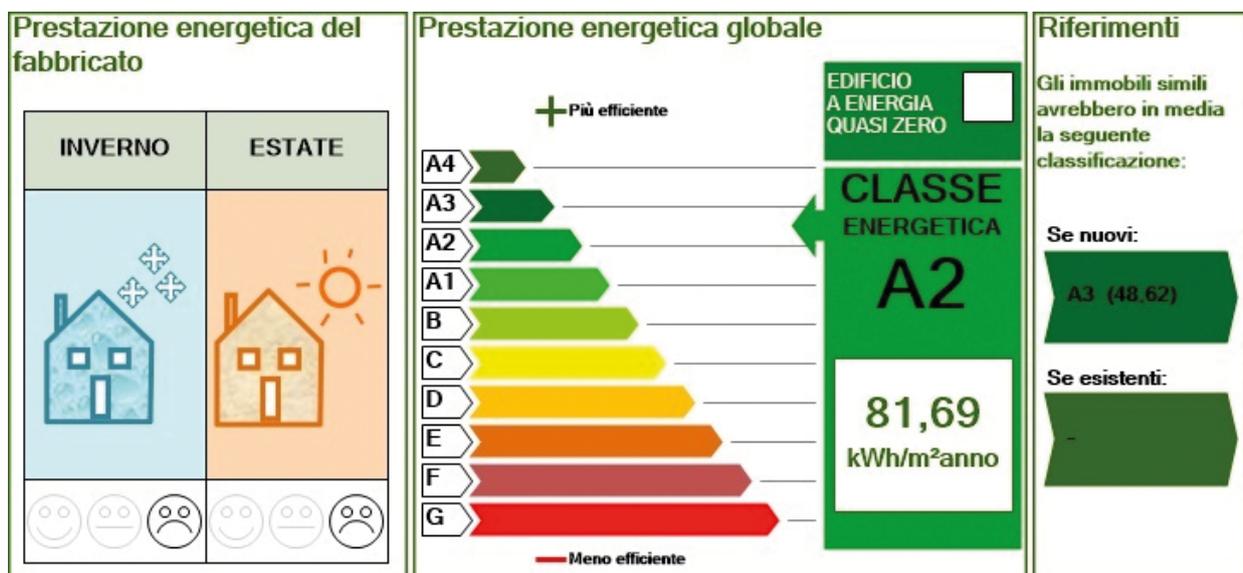


Figura 14. Classe energetica dell'edificio con involucro non isolato, pompa di calore e impianto fotovoltaico da 6 kW.

Una valutazione oraria dell'energia prodotta dal fotovoltaico e dei consumi elettrici dei servizi energetici consentirebbe di simulare anche un'eventuale batteria di accumulo ed ottenere delle valutazioni di natura economica ben più precise.

La soluzione in sola pompa di calore abbinata all'isolamento dell'involucro

Ampliamo ora l'ambito di intervento sullo stato di fatto, includendo anche il miglioramento dell'involucro dell'edificio. Intervenedo sulla parte involucro, si andrà a ridurre direttamente la domanda energetica in riscaldamento del fabbricato ($Q_{H,nd}$) che la pompa di calore dovrà successivamente soddisfare. Servirà pertanto una pompa di calore meno potente e quindi meno costosa, rispetto al precedente intervento (centrato solo sulla parte impiantistica), la quale dovrà essere sempre dimensionata con il metodo della firma energetica.

Isolando l'involucro si migliora anche il comfort interno; la temperatura superficiale interna delle pareti risulterà maggiore, riducendo così la differenza di temperatura con l'aria interna. Attenzione però ai ponti termici: isolare non significa solamente quantificare i cm di cappotto esterno da applicare alle pareti disperdenti, ma include anche la correzione dei ponti termici, ovvero di tutti i punti critici che potrebbero favorire la formazione di muffa superficiale.

Si è quindi ipotizzato di posare un cappotto esterno avente uno spessore di 14 cm in polistirene espanso alla grafite e di rimuovere la vecchia coibentazione del sottotetto, sostituendolo con 20 cm di fiocchi di cellulosa.

Il fabbricato presenta a questo punto fabbisogni ben diversi rispetto allo stato di fatto, come evidenziato nella Tabella 10.

	Stato di fatto		Involucro isolato	
Potenza UNI EN 12831	15	kW	8	kW
$Q_{H,nd}$	20.776	kWh	10.128	kWh
$EP_{H,nd}$	152,70	kWh/m²anno	74,39	kWh/m²anno

Tabella 10. Confronto di potenza e domanda energetica tra involucro esistente e involucro isolato.

Grazie al cappotto esterno e ad una migliore coibentazione del sottotetto, sia la potenza richiesta dall'edificio che il suo fabbisogno energetico vengono praticamente dimezzate.

Dal punto di vista impiantistico, i radiatori esistenti risultano ora sovradimensionati rispetto al nuovo carico energetico; questo rappresenta un vantaggio notevole per poter ridurre le temperature di mandata con cui la pompa di calore dovrà lavorare (vedi Figura 15).

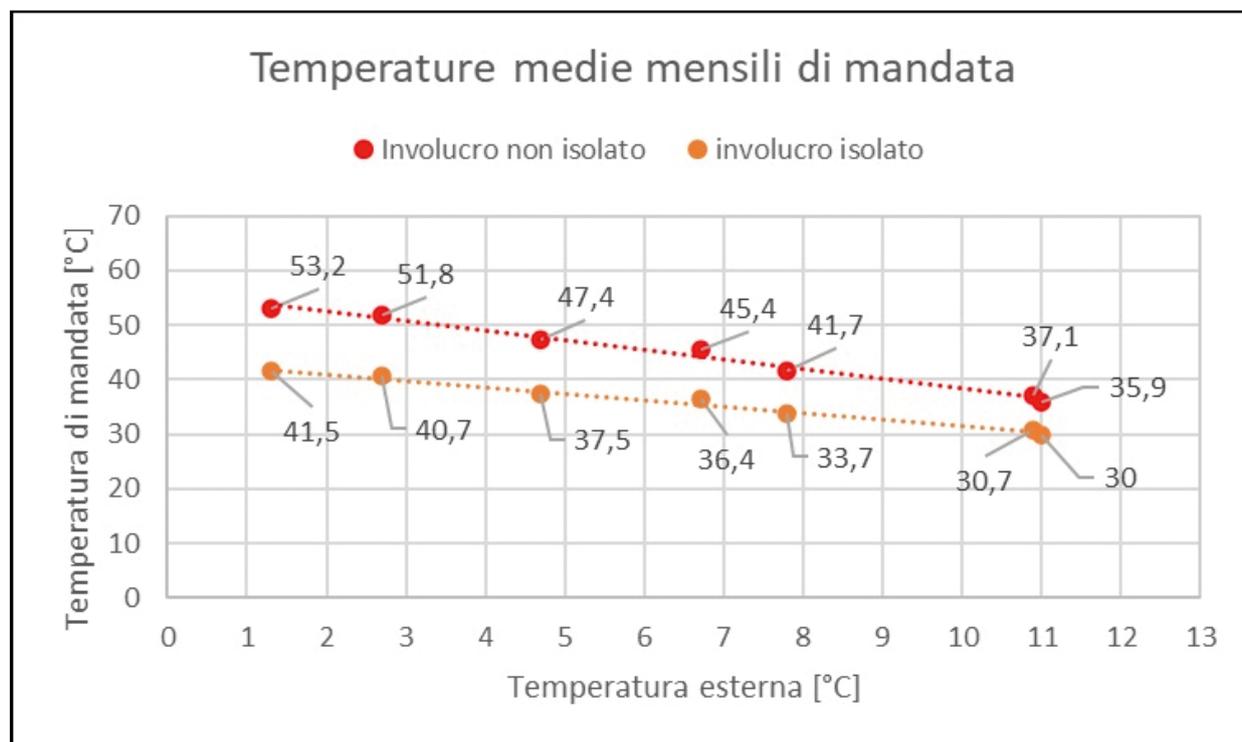


Figura 15. Confronto tra la temperatura media di mandata ai radiatori nel caso di involucro non isolato e nel caso di involucro isolato.

Come fatto per l'intervento precedente dedicato al solo impianto, passiamo ad analizzare l'andamento delle temperature per ciascun BIN del mese di gennaio (Figura 16).

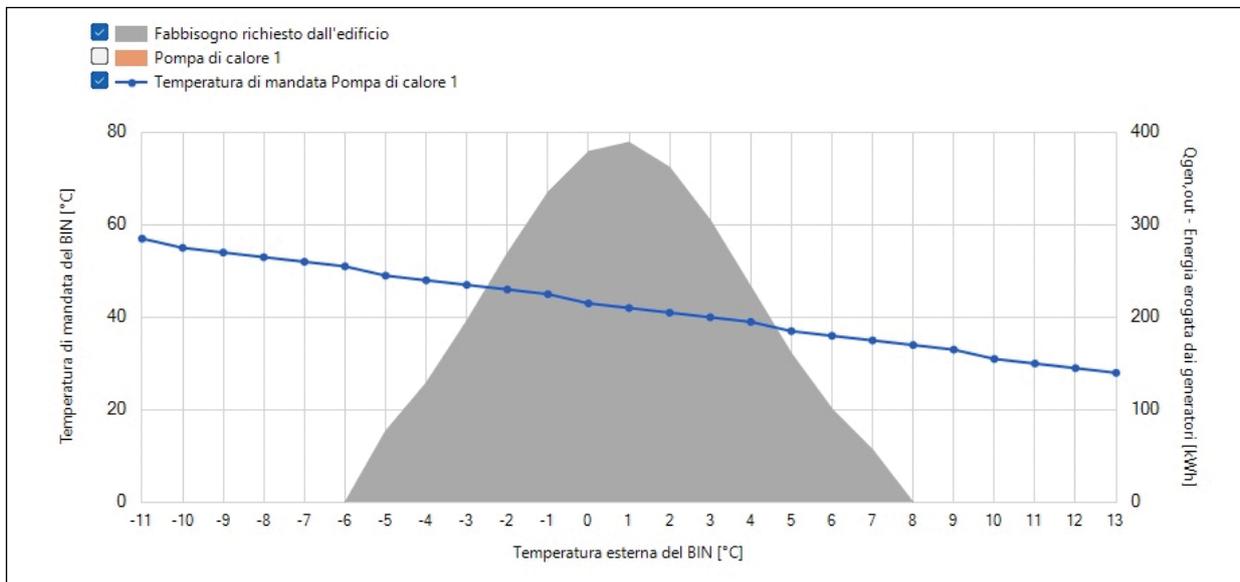


Figura 16. Andamento delle temperature di mandata e del carico energetico per BIN del mese di gennaio.

I valori massimi di temperatura di mandata richiesti **non superano i 50°C**, il che consente di ipotizzare l'adozione di una pompa di calore diversa rispetto a quelle "ad alta temperatura" che utilizzano il gas R290. Possiamo quindi considerare l'utilizzo di una pompa di calore che impieghi il gas R32, dimensionata anch'essa sulla base della firma energetica (Figura 17).

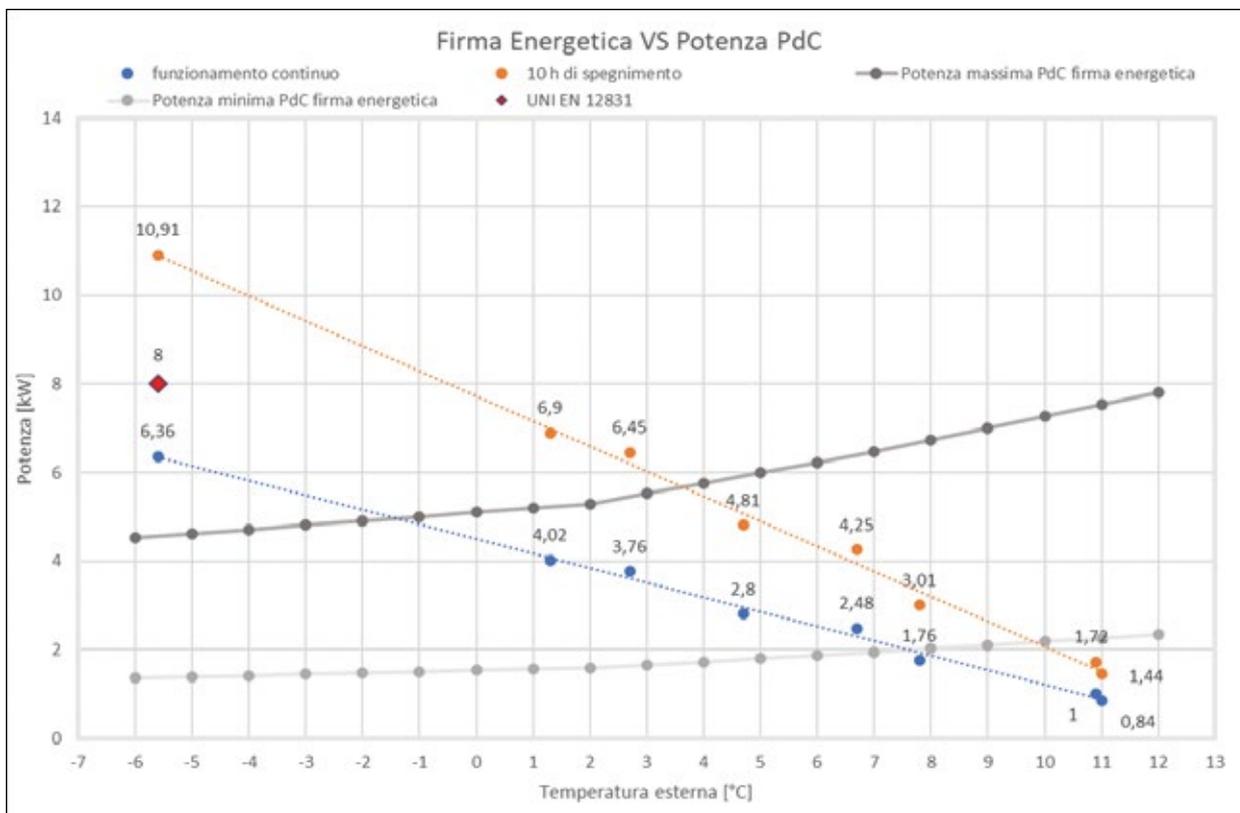


Figura 17. Dimensionamento della pompa di calore tramite firma energetica per l'edificio con involucro isolato

La taglia scelta per la pompa di calore circa 5 kW a -7°C/55°C è decisamente inferiore rispetto a quella dimensionata per l'edificio non isolato. Grazie alle migliori prestazioni dell'involucro, il dimensionamento è stato orientato maggiormente verso la potenza media richiesta nel mese di gennaio. La curva della potenza massima della pompa di calore interseca infatti la firma energetica in funzionamento continuo poco al di sotto dei -1°C, rispetto ai -3°C nel caso dell'edificio non isolato.

Anche in questo caso è importante verificare che, nel mese più freddo, un funzionamento in continuo dell'impianto sia in grado di coprire il carico richiesto; nei mesi meno rigidi, l'impianto potrà anche essere condotto con attivazione giornaliera in modo da ottimizzare l'autoconsumo con l'impianto fotovoltaico senza pregiudicare il comfort interno.

Arriviamo ora all'analisi dei risultati, confrontando le prestazioni della pompa di calore sull'involucro non isolato rispetto a quelle sull'involucro isolato (Tabella 11).

	Pompa di calore con involucro non isolato		Pompa di calore con involucro isolato	
$Q_{H,nd}$	20.776	kWh	10.121	kWh
$\eta_{H,em}$	92	%	97	%
$\eta_{H,rg}$	98	%	98	%
$\eta_{H,du}$	94	%	94	%
$Q_{H,gen,ut}$	24.456	kWh	10.988	kWh
$\eta_{H,gen,ut}$	346,3	%	388,8	%
$Q_{H,gen,in}$	7.064	kWh	2831	kWh
$\eta_{H,gen,p,nren}$	150,8	%	183,3	%
$EP_{H,nren}$	101,24	kWh/m ² anno	40,58	kWh/m ² anno
Costo	1.766	€	708	€

Tabella 11. Confronto dei risultati di calcolo del servizio riscaldamento tra l'edificio non isolato e quello isolato alimentati da pompe di calore.

Analizzando i risultati, si evidenzia un ulteriore beneficio dato dall'isolamento dell'involucro. Il rendimento di emissione ($\eta_{H,em}$) migliora del 5% grazie al fatto che i radiatori non sono più installati su pareti esterne non isolate, ma su pareti esterne isolate. Ciò riduce le perdite per trasmissione, rendendo così i terminali esistenti più efficienti.

Il funzionamento della pompa di calore a temperature inferiori consente di migliorare l'efficienza di generazione ($\eta_{H,gen,ut}$) di 42,5 punti percentuali, con un rendimento globale medio stagionale riferito all'energia primaria non rinnovabile ($\eta_{H,gen,p,nren}$) che raggiunge il 183,3%.

Grazie alla riduzione della domanda energetica e all'alta efficienza dell'impianto, il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento ($EP_{H,nren}$) è ora di 40,58 kWh/m² anno e il fabbisogno per il servizio acs risulta molto simile a quello determinato per l'edificio non isolato ($EP_{W,nren} = 13,54$ kWh/m² anno).

L'edificio raggiunge così un $EP_{gl,nren}$ pari a 54,12 kWh/m²anno e si colloca in classe A3 (Figura 18).

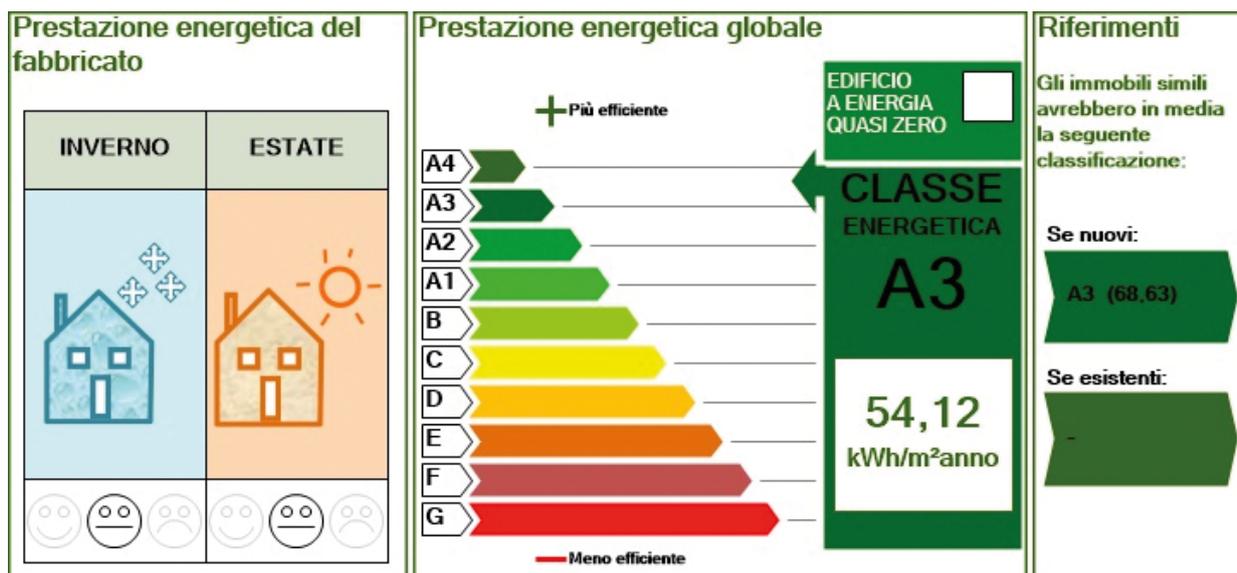


Figura 18. Classe energetica dell'edificio con involucro isolato e pompa di calore.

La classe A4 risulta essere molto vicina all' $EP_{gl, nren}$ dell'edificio, con un limite di 45,85 kWh/m² anno. Pertanto, l'aggiunta di un impianto fotovoltaico da 6 kW è sufficiente per ridurre ulteriormente l' $EP_{gl, nren}$ a 27,86 kWh/m² anno, collocando così l'edificio nella classe A4 (Figura 19).

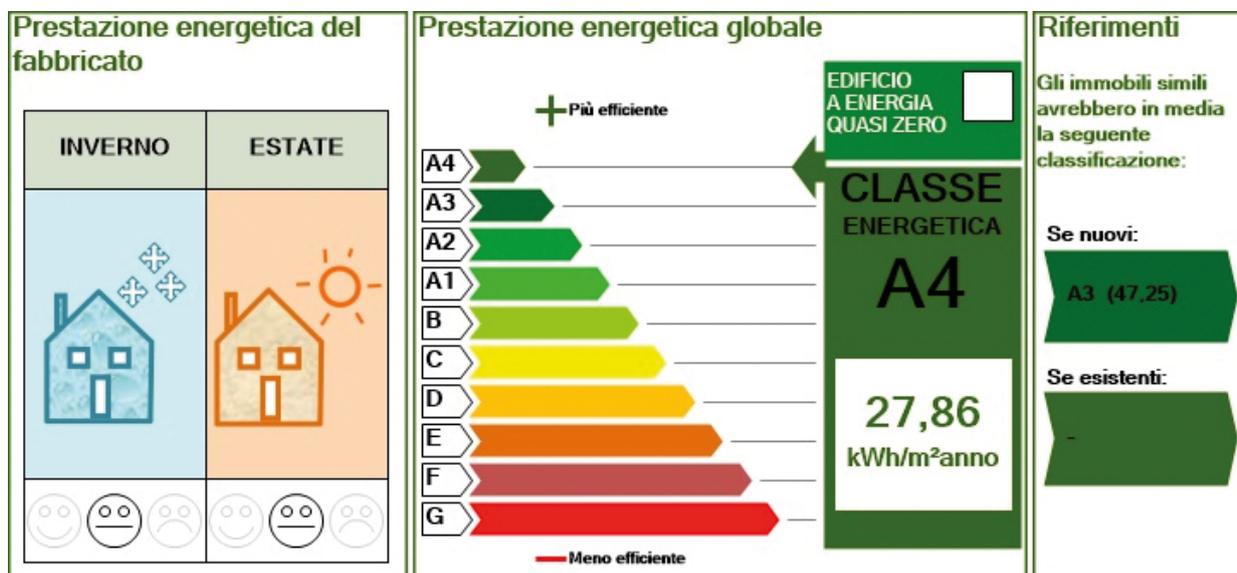


Figura 19. Classe energetica dell'edificio con involucro isolato, pompa di calore ed impianto fotovoltaico.

Conclusioni

Le simulazioni svolte hanno mostrato come sia possibile abbandonare l'utilizzo del gas metano in edifici residenziali esistenti. Laddove è possibile intervenire anche sull'involucro, risulta più semplice studiare delle soluzioni in pompa di calore. Risulta invece più critico, ma comunque fattibile, nei casi in cui l'involucro non sia isolato.

Per progettare tali soluzioni è molto importante svolgere un rilievo accurato del sistema edificio impianto ed una conseguente simulazione energetica svolta con la giusta consapevolezza, sia che si basi sul calcolo mensile che sul calcolo dinamico orario. Molto importante è poi rendere consapevoli i committenti delle modalità di funzionamento del nuovo impianto in pompa di calore; dovranno infatti raggiungere le condizioni di comfort interno con un quantitativo di potenza inferiore rispetto a quello che era in grado di fornire una caldaia. Non è quindi sufficiente fermarsi alla corretta progettazione dell'impianto; occorre istruire il committente sul suo corretto utilizzo affinché sia in grado di fornire le prestazioni per cui è stato progettato.

Quanto visto si può applicare tranquillamente in ville e villette. Sicuramente le difficoltà aumentano in contesti condominiali, dotati di impianti autonomi o centralizzati, in cui può venir meno la presenza di spazi idonei al posizionamento delle pompe di calore. In tali contesti può anche essere più complesso istruire i condomini alla corretta modalità di funzionamento dell'impianto.

Per concludere, occorre parlare di costi.

Da un punto di vista dei costi di gestione dell'impianto, la soluzione in pompa di calore, soprattutto se abbinata ad un impianto fotovoltaico con eventuale batteria di accumulo, presenta sicuri vantaggi rispetto alla classica soluzione con caldaia.

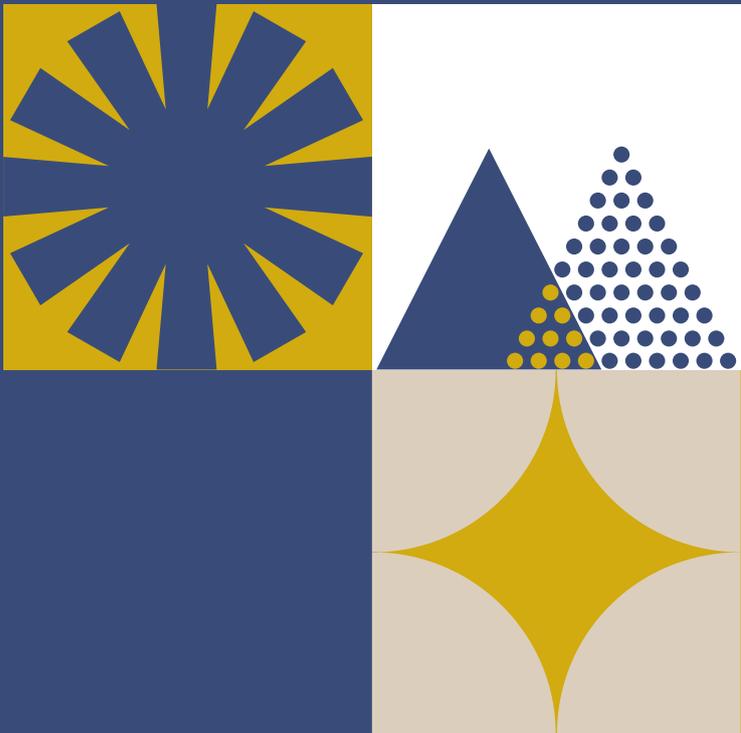
I costi invece legati alla realizzazione dell'impianto sono più importanti. Una pompa di calore è una macchina più complessa rispetto ad una caldaia e presenta un costo di produzione superiore che varia in funzione della sua taglia. Ecco perché è molto importante dimensionare correttamente la pompa di calore; una taglia troppo grande avrà un costo maggiore oltre a lavorare in maniera meno efficiente limitando inoltre la vita utile di un componente importante come il compressore.

Ad oggi è quindi abbastanza consueto riscontrare tempistiche di rientro dell'investimento superiori ai 10 anni anche sfruttando gli incentivi fiscali disponibili come l'ecobonus.

Valutare la soluzione in pompa di calore dal solo punto di vista del tempo di rientro dell'investimento è però riduttivo. I benefici, come abbiamo potuto vedere, non sono solamente di carattere economico.

La riduzione dei fabbisogni di energia primaria e delle emissioni di CO₂ contribuisce a rendere l'edificio decisamente più sostenibile dal punto di vista ambientale oltre a migliorare in maniera sostanziale la sua classe energetica e aumentare di conseguenza il suo valore di mercato.

Infine, da non sottovalutare il discorso legato all'indipendenza energetica. L'aggiunta di un impianto fotovoltaico e di una batteria di accumulo possono limitare in maniera importante i prelievi di energia elettrica da rete aumentando l'indipendenza nei confronti delle fluttuazioni dei prezzi del vettore energetico.



EDILCLIMA SRL
Via Vivaldi, 7
28021 Borgomanero (NO)

www.edilclima.it