

Efficienza energetica dei sistemi ibridi per il riscaldamento ambienti

COSTANZO DI PERNA¹, GUGLIELMO MAGRI²

*1-Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche - Università Politecnica delle Marche
2- Baxi SpA*

RIASSUNTO

Le pompe di calore aria-acqua sono tecnologie particolarmente adatte ad aumentare il rendimento nei sistemi di riscaldamento ambiente, grazie ai coefficienti di prestazione e alla facilità di installazione.

Tuttavia, un grande limite per l'adozione di queste macchine è costituito dalla limitata potenza disponibile, dovuta alla necessità di evitare sovradimensionamenti dannosi per la vita utile della macchina e per questo motivo usualmente si adotta un sistema di integrazione costituito da resistenze elettriche. A causa però del basso rendimento di questa soluzione risulta interessante l'adozione di sistemi ibridi costituiti dall'abbinamento con una caldaia a condensazione che intervenga quando la potenza fornita dalla pompa di calore non è più sufficiente o quando il rendimento della pompa di calore, che è negativamente influenzato dalla diminuzione della temperatura esterna, scende sotto quello della caldaia.

In questo lavoro, utilizzando le norme UNI TS 11300-2 e UNI EN 15316 già in vigore e la UNI TS 11300-4 in via di emissione, si è sviluppato un modello di calcolo del rendimento stagionale di un sistema di questo tipo e mediante esso si è effettuato un confronto dell'applicazione su un edificio esistente in alternativa a quello con integrazione elettrica.

I risultati dimostrano l'incremento del rendimento di produzione ottenibile dall'adozione del sistema ibrido e quantificano le opportunità di riduzione del fabbisogno energetico del parco edilizio esistente.

1. INTRODUZIONE

Questo lavoro si prefigge come obiettivo principale quello di analizzare le prestazioni energetiche di una nuova tipologia di generatori per il riscaldamento ambiente costituiti da pompe di calore elettriche integrate da caldaie a condensazione.

Il recente ingresso nel mercato di questi generatori, e la loro applicazione su edifici di nuova concezione, necessita di un metodo di analisi energetica: attualmente, a livello nazionale, la norma in vigore per il calcolo del fabbisogno energetico degli edifici è la UNI TS 11300, che ha sostituito le precedenti Norme UNI, che, per la determinazione del rendimento di generazione, contempla nella parte 2 gli impianti costituiti da generatori a combustione. Nel caso di impianti costituiti da pompe di calore il riferimento è invece la quarta parte della UNI TS 11300, in corso di approvazione.

Nel caso di adozione di sistemi ibridi che contemplano il contemporaneo utilizzo di caldaie e pompe di calore occorre elaborare un modello di calcolo che combini i due

metodi descritti nelle precedenti norme, introducendo dei criteri di priorità e ciò, a causa della novità di tali sistemi e norme, ancora non viene fatto dai software per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici.

In questo lavoro perciò si è elaborato un modello di calcolo, basato sulle norme sopra enunciate, al fine di rendere possibile la determinazione del rendimento di generazione di sistemi ibridi caldaia-pompa di calore, in funzione dei vari parametri al contorno. Successivamente si è applicato tale modello di calcolo per valutare il rendimento di generazione di un sistema ibrido su due tipologie di edifici.

Nel primo caso si è preso in considerazione un edificio autonomo unifamiliare, mentre nel secondo caso si è analizzato un edificio condominiale esistente. In entrambi i casi si è poi paragonato il rendimento di generazione con quello ottenibile con generatori a combustione e con sistemi solo elettrici e in tale modo si è quantificato il risparmio energetico ottenibile su queste tipologie di edificio.

2. SPECIFICITA' CLIMATICHE IN ITALIA

L'Italia è conosciuta come uno dei paesi con il clima più mite e gradevole, ma ad una più approfondita analisi delle caratteristiche climatiche del nostro paese emerge come in verità ci siano delle differenze importanti dovute all'estensione geografica (soprattutto in latitudine) che, in certi casi associata all'altitudine di alcune località, portano a climi piuttosto rigidi. Una delle specificità climatiche più marcate riguarda l'andamento delle temperature e dell'umidità dell'aria. Al contrario di altri paesi europei, alcune zone geografiche italiane hanno molto spesso un clima invernale particolarmente freddo e umido per un periodo di tempo molto lungo, che normalmente inizia già alla fine del mese di ottobre e prosegue fino all'inizio di marzo.

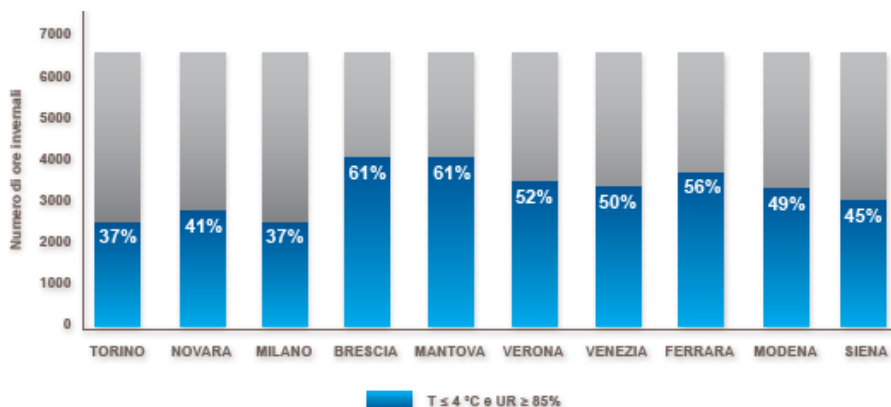


Figura 1-Temperature orarie rilevate nei mesi di dicembre, gennaio, febbraio del periodo 2007-2010 (fonte: Meteo Italia srl, Arpa Emilia Romagna - Mantova, Venezia, Siena: fonte CTI - anno tipo climatico temperature orarie mesi di dicembre, gennaio, febbraio)

Nel grafico (Figura 1) si vede come numerose città abbiano un elevato numero di ore invernali in cui le temperature sono particolarmente fredde (4°C o inferiore) e

l'umidità relativa alta (85% o superiore). Nelle elaborazioni grafiche (Figure 2 e 3) relative a temperature e umidità di Milano si nota che nel 65% delle ore invernali la temperatura è $\leq 4^{\circ}\text{C}$ e nel 54% l'umidità relativa è $\geq 85\%$:

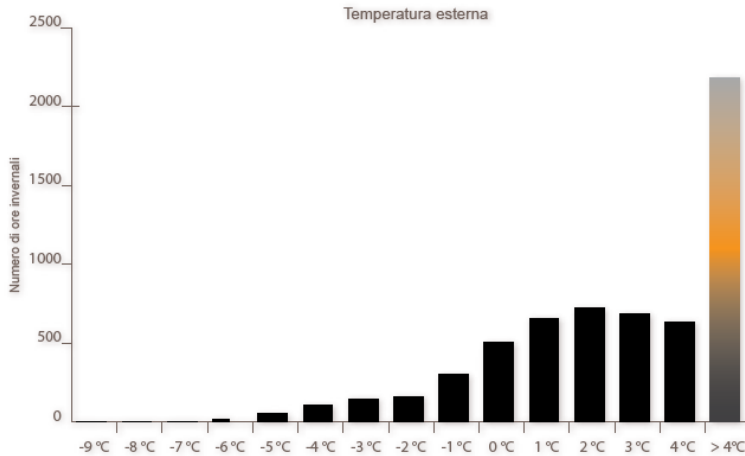


Figura 2- Temperature esterne invernali di Milano – dati orari relativi al periodo Dicembre 2007–Febbraio 2010 nei mesi dicembre, gennaio, febbraio (Fonte: Meteo Italia srl)

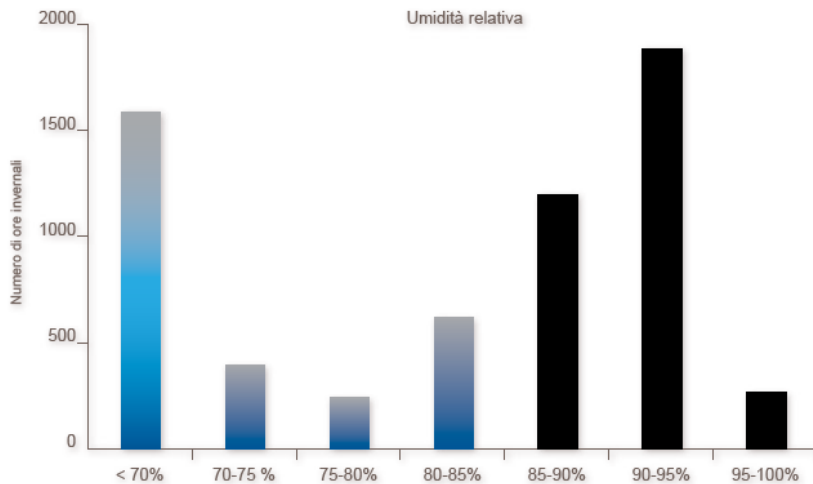


Figura 3 - Umidità relativa invernale di Milano – dati orari relativi al periodo Dicembre 2007–Febbraio 2010 nei mesi dicembre, gennaio, febbraio (Fonte: Meteo Italia srl)

Tali condizioni sono quindi spesso riscontrabili nel nord Italia e soprattutto in città della pianura padana, anche se il fenomeno della nebbia (combinazione di temperatura bassa e umidità alta) è riscontrabile in modo frequente anche in alcune città del centro e sud Italia.

Un'altra caratteristica geografica italiana, cioè i circa 7.500 km di coste marine, ha un'importante influenza sul tasso di umidità relativa delle città che si affacciano al mare. Nei periodi invernali la coincidenza di basse temperature e alti tassi di umidità porta quindi alla formazione frequente di nebbie. Un esempio emblematico è la costa alto adriatica, dove nella maggioranza delle ore invernali l'umidità è statisticamente molto elevata: la stazione di rilevazione meteo ARPA del Lido di Volano (FE) ha contato il 61% delle ore invernali con umidità relativa maggiore all'85% (calcolata sul totale dati di umidità relativa orari dei mesi Dicembre-Gennaio-Febrero del periodo 2007-2010, fonte: ARPA Emilia Romagna).

3. INFLUENZA DI TEMPERATURA E UMIDITA' SULLE PRESTAZIONI DELLE POMPE DI CALORE ARIA_ACQUA

Tra le tecnologie funzionanti a fonti rinnovabili, la pompa di calore è quella che negli ultimi anni sta riscuotendo un crescente interesse in molteplici applicazioni impiantistiche anche nel settore residenziale.

E' risaputo che le prestazioni di una pompa di calore dipendono in modo consistente dalla temperatura della sorgente, quindi dell'aria esterna nel caso delle pompe di calore aria-acqua.

L'aria esterna nel periodo invernale è però soggetta a frequenti e continui cambiamenti di temperatura e umidità, che causano variazioni immediate sulle prestazioni delle pompa di calore, sia in termini di potenza resa che di efficienza. Le pompe di calore aria-acqua sono infatti soggette alla necessità di effettuare l'inversione del ciclo frigorifero per effettuare lo sbrinamento della batteria evaporante esterna, a causa della formazione di brina.

Tale inversione di ciclo abbassa il rendimento totale della macchina in quanto viene spesa energia per riscaldare l'evaporatore invece che apportare calore all'acqua del circuito riscaldamento: la diminuzione di rendimento è tanto maggiore quanto più frequenti sono i cicli di sbrinamento. Durante il funzionamento invernale si forma brina sulla superficie delle batterie evaporanti delle pompe di calore qualora si verificano simultaneamente due condizioni:

- diminuzione dell'umidità assoluta dell'aria tra ingresso ed uscita della batteria evaporante a causa del deposito sulla superficie della condensa prodotta;
- temperatura superficiale della batteria evaporante uguale o inferiore a 0°C.

Per valori di umidità relativa sopra il 50% la temperatura dell'evaporatore si trova verosimilmente sotto la temperatura di rugiada e ciò provoca condensazione: in queste condizioni la temperatura dell'evaporatore può essere più alta, a parità di scambio termico, grazie al contributo del calore latente di condensazione e ciò migliora il COP che aumenta con maggiori temperature di evaporazione.

Questo fenomeno fa sì che maggiore è l'umidità relativa migliore è il COP fino a che la temperatura dell'evaporatore non scende sotto 0°C provocando la trasformazione

della condensa in brina che in breve peggiora lo scambio termico dell'evaporatore e innesca i cicli di sbrinamento. Da quel punto in poi, la maggiore umidità peggiora il COP a causa della maggiore necessità di cicli di sbrinamento. La Figura 4 mostra l'andamento del COP in funzione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria esterna: è visibile un andamento a gradino in corrispondenza della temperatura in cui si innescano i cicli di sbrinamento.

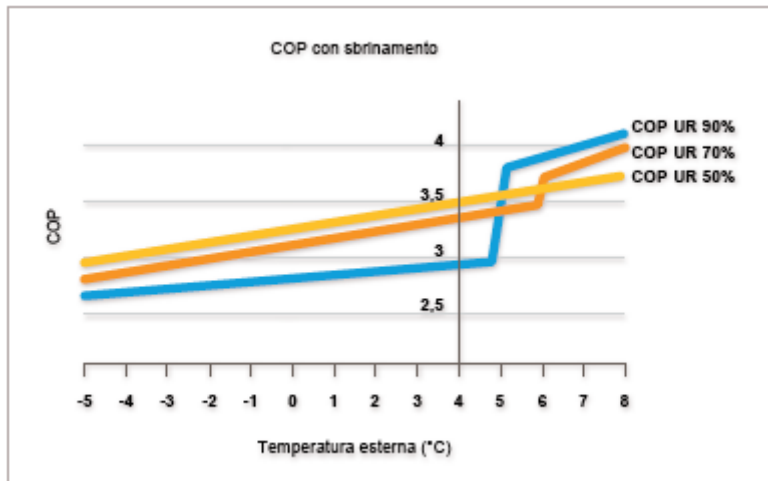


Figura 4 - COP con sbrinamento in funzione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria esterna

Per quanto esposto sopra, il COP è tanto più alto quanto maggiore è l'umidità dell'aria prima dell'innesco dello sbrinamento, tanto più basso quanto più è alta l'umidità dell'aria quando si innescano i cicli di sbrinamento.

Al di sotto del 50% di umidità relativa i cicli di sbrinamento non si innescano mai, in quanto la temperatura di rugiada è troppo bassa e quindi la temperatura dell'evaporatore rimane sempre più alta.

Da quanto sopra descritto, si può riassumere che la pompa di calore è sicuramente una tecnologia molto efficiente con temperature dell'aria esterna medio-alte e alti livelli di umidità relativa: grazie infatti alla combinazione di questi due fattori, la pompa di calore beneficia del calore latente di condensazione.

Invece, in situazioni di temperature dell'aria esterna medio-basse e alti livelli di umidità relativa il rendimento della pompa di calore decade molto velocemente fino a rendere questa tecnologia non conveniente in termini sia economici che energetici.

2. DATI DEI GENERATORI

Nel caso dell'analisi sull'edificio unifamiliare il sistema adottato è un generatore ibrido integrato composto da un involucro che contiene al suo interno la componentistica idraulica, l'elettronica di controllo, un accumulo di liquido sul circuito di riscaldamento

e da una pompa di calore elettrica aria-acqua esterna e connessa all'unità principale mediante tubi collegati al circuito riscaldamento (Figura 5).

In Tabella 1 sono elencate le caratteristiche tecniche del generatore ibrido.

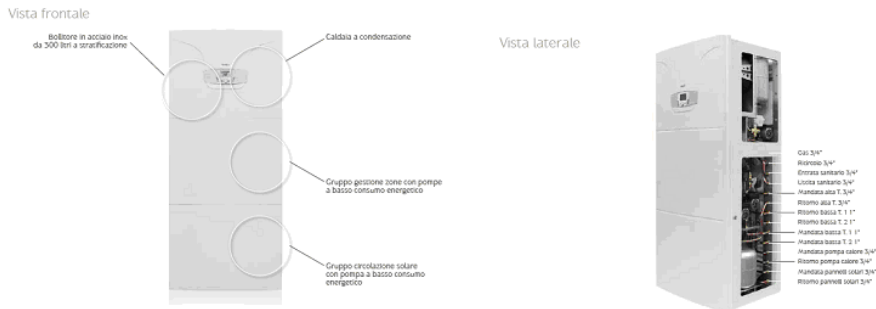


Figura 5 – Generatore ibrido integrato

Nel caso dell'analisi sull'edificio condominiale si è invece adottato un sistema ibrido non integrato, composto da due generatori separati, ma controllati dalla stessa elettronica (Figura 6).

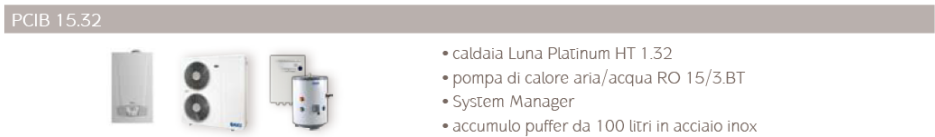


Figura 6 – Sistema ibrido

In questo caso i dati dei generatori sono mostrati in Tabella 2

Essendo il sistema composto da due generatori differenti è necessario stabilire una priorità di accensione che ottimizzi il rendimento del sistema. Data l'elevata efficienza della pompa di calore sarà questa ad attivarsi per prima per le temperature più miti, tuttavia il COP di questo generatore diminuisce fortemente con la diminuzione della temperatura esterna e con umidità relative più alte a causa dell'innesco di cicli di sbrinamento. Perciò è stata individuato un valore minimo del COP per cui la pompa cesserà di lavorare, onde evitare rendimenti troppo bassi.

La caldaia a condensazione potrà entrare in funzione anche nel caso in cui non venga superata la temperatura di cut-off, qualora la sola pompa di calore non riesca a sopperire all'intero fabbisogno, ciò avviene per una temperatura detta temperatura bivalente (θbival). Quindi la pompa di calore dovrà soddisfare il carico termico fino alla temperatura di bivalente, sotto la quale entrerà in funzione il generatore integrativo.

Tabella 1 - Dati del generatore ibrido

Caldaia a condensazione	
Portata termica nominale in riscaldamento	24,7 kW
Potenza termica nominale 80/60	24 kW
Potenza termica nominale 50/30	26,1 kW
Rendimento nominale 80/60	97,6 %
Rendimento nominale 50/30	105,7 %
Rendimento 30% Pn	107,6 %
Pompa di calore aria-acqua	
Potenza in riscaldamento	8,5 kW
Potenza elettrica assorbita	2,1 kW
COP con temperatura aria 7°C b.s. e temperatura mandata acqua 35°C	3,97
Temperatura mandata acqua	50/25 °C
Alimentazione	230 V/1/50Hz

Tabella 2 - Dati del sistema ibrido

Caldaia a condensazione	
Portata termica nominale in riscaldamento	28,9 kW
Potenza termica nominale 80/60	28 kW
Potenza termica nominale 50/30	30,6 kW
Rendimento nominale 80/60	97,7 %
Rendimento nominale 50/30	105,8 %
Rendimento 30% Pn	107,7 %
Pompa di calore aria-acqua	
Potenza in riscaldamento	14,5 kW
Potenza elettrica assorbita	3,5 kW
COP con temperatura aria 7°C b.s. e temperatura mandata acqua 35°C	3,51
Temperatura mandata acqua	40/25 °C
Alimentazione	400 V/3 N/50Hz

Nello strumento di calcolo realizzato, oltre all'integrazione fornita dalla caldaia a condensazione, è considerato anche il caso della più tradizionale integrazione mediante resistenza elettrica con lo scopo di effettuare una comparazione quantitativa fra i due sistemi. Questo tipo di integrazione si comporterà in modo diverso di quella a gas, perché dato il suo basso rendimento entrerà in funzione solamente nel caso di mancato raggiungimento della potenza richiesta, lasciando lavorare la pompa per tutte le possibili temperature dell'aria senza considerare una temperatura di cut off. In Figura 7 è mostrata la situazione descritta su un diagramma Temperatura esterna-Potenza.

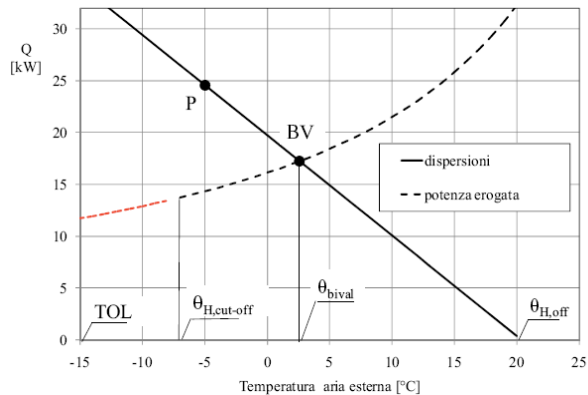


Figura 7 – Diagramma per dimensionamento pompa di calore
(Fonte [1])

3. DATI DELL'EDIFICIO UNIFAMILIARE

Lo studio è stato realizzato su una casa unifamiliare nella periferia di Milano: l'edificio è dotato di un singolo generatore, è costituito da due piani ed è dotato di isolamenti e serramenti di buona qualità, la regolazione è effettuata mediante un termostato posto nel soggiorno del piano terra e con una sonda di temperatura esterna per il controllo della temperatura di mandata all'impianto, il sistema di emissione è costituito da pannelli radianti a pavimento.

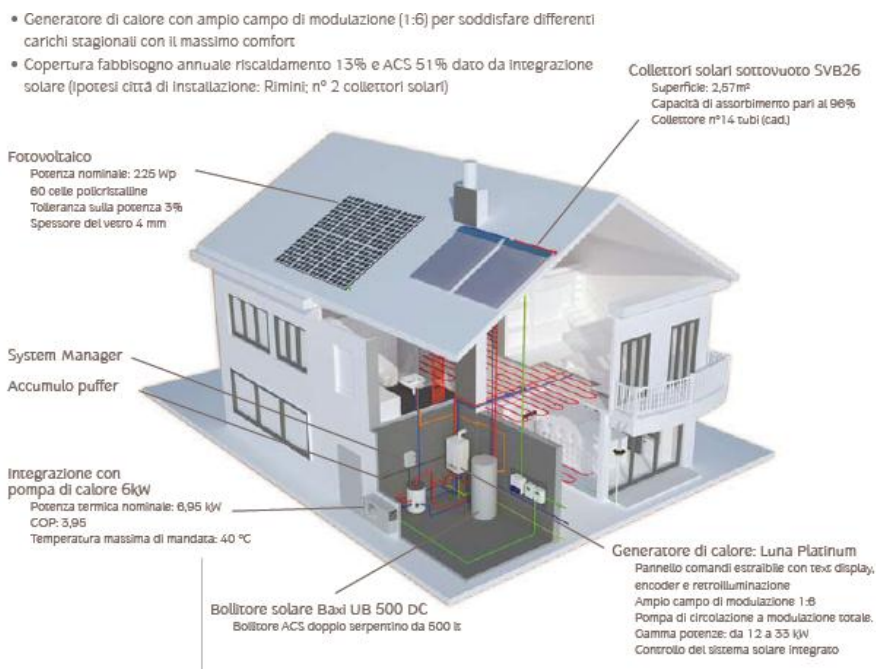


Figura 8 – Vista prospettica edificio esaminato

I dati dell'edificio analizzato sono mostrati nella Tabella 3.

Tabella 3-Dati dell'edificio

Dati geometrici	
Volume spazio riscaldato (V)	928 m ³
Superficie esterna (S)	775 m ²
Rapporto S/V	0,83 1/m
Superficie utile (Su)	270 m ²
Dati prestazionali	
Rendimento di regolazione	99,5 %
Rendimento di distribuzione	98 %
Rendimento di emissione	95 %
Fabbisogno di energia termica all'uscita del sottosistema di generazione	20250 kWh
Dispersioni per trasmissione e per ventilazione	10 kW

4. RISULTATI

Nelle Figure 9 e 10 sono mostrati i risultati dell'applicazione all'edificio in esame delle seguenti soluzioni

- 1- Pompa di calore con integrazione elettrica
- 2- Sistema ibrido

Se si fosse dimensionata la pompa di calore per fornire da sola tutta la potenza necessaria a coprire il carico di punta dell'edificio, ciò avrebbe comportato che nella maggior parte delle ore annuali essa avrebbe funzionato a carico parziale e ciò avrebbe comunque abbassato il rendimento, ma soprattutto avrebbe aumentato il numero di cicli di accensione e spegnimento del compressore con diminuzione della vita utile della macchina.

L'adozione di una pompa di calore di tipo a inverter potrebbe migliorare questo ultimo aspetto, ma non eliminare del tutto il problema dati i limiti di modulazione degli inverter e per la necessità di garantire partenze a freddo nelle quali non è possibile effettuare i cicli di sbrinamento dato che l'impianto non ha ancora il calore necessario a consentire l'inversione del ciclo.

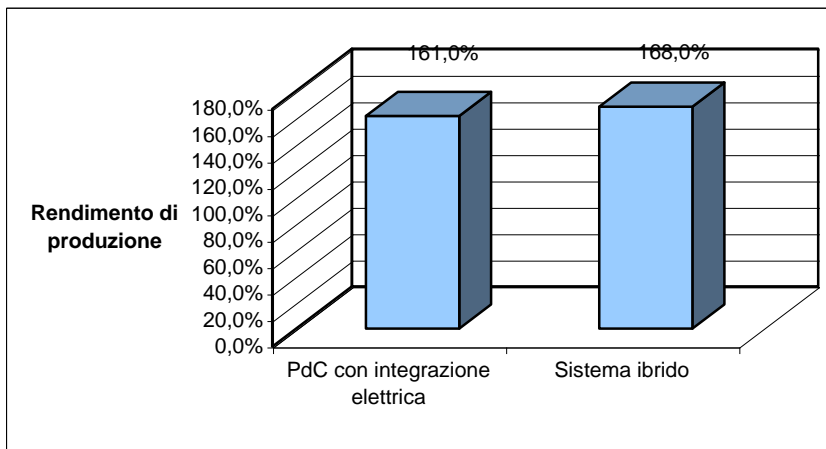


Figura 9 – Confronto in termini di rendimenti

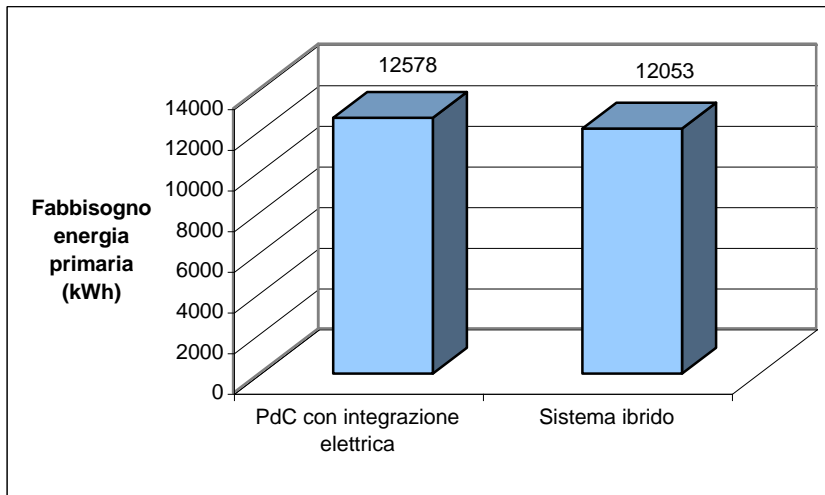


Figura 10 – Confronto in termini di energia primaria

4. ANALISI EDIFICIO PLURIFAMILIARE

Nel secondo caso, analizzeremo un edificio condominiale plurifamiliare situato a Vicenza, costruito alla fine degli anni 90, con circa 800 m² di superficie, 3 piani, 10 appartamenti.

L'impianto di riscaldamento è centralizzato e si è fatto in modo di avere un'unica zona climatica per tutti gli appartamenti

Dati edificio

Dati generali

Comune: Vicenza

Classificazione edificio: E1 Edificio adibito a residenza con carattere continuativo

Volume riscaldato 2830 m³

Superficie esterna: 961 m²

Superficie utile: 6841 m²

Rapporto S/V: 0,34

Numero unità abitative: 10

Descrizione dell'impianto

Tipo di sistema: solo riscaldamento

Tipo di impianto: centralizzato

Fluido termovettore: acqua

Terminali: radiatori in alluminio

Temperatura di mandata di progetto: 50 °C

Temperatura di ritorno di progetto: 40 °C

Temperatura interna di progetto: 20°C

Sistema di regolazione: regolazione climatica centrale con sonda esterna agente su valvola miscelatrice, radiatori equipaggiati con valvole di regolazione manuale

Dati sistema esistente

Rendimento di regolazione: $\eta_{rg}=81\%$

Fabbisogno di energia in uscita al sottosistema di generazione Qgn: 65920 kWh

Rendimento di generazione: 80%

Fabbisogno energia primaria per il riscaldamento Qp: 82400 kWh

Indice di prestazione energetica EPi: 103 kWh/m²

Nell'edificio sopra descritto si è sostituito il generatore esistente con l'adozione del sistema ibrido e si è migliorato il sistema di regolazione con l'adozione di valvole termostatiche su ogni singolo radiatore.

I risultati sono i seguenti.

Rendimento di regolazione: 97%

Fabbisogno di energia all'uscita del sottosistema di generazione: 55046,6 kWh

Rendimento di generazione con sistema ibrido: 127,6 %

Indice di prestazione energetica EPi: 53,9 kWh/m²

Rendimento di generazione con pompa di calore e integrazione elettrica: 116,4%

Indice di prestazione energetica EPi: 59,1 kWh/m²

5. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato descritto un nuovo sistema di generazione per riscaldamento ambienti costituito da pompe di calore elettriche aria-acqua e caldaie a condensazione e si sono esposti i vantaggi derivanti dall'adozione di questi sistemi rispetto a soluzioni più tradizionali.

Si sono poi studiati due casi di installazione di questo tipo di sistemi: il primo costituito da un edificio unifamiliare di nuova costruzione e il secondo costituito da un edificio condominiale esistente.

In entrambi i casi sono stati calcolati il rendimento di produzione e il fabbisogno di energia primaria ottenibili con l'adozione di un generatore ibrido e compararlo con l'adozione di una pompa di calore aria-acqua con integrazione elettrica.

Si è così verificato quantitativamente che il generatore ibrido riesce a garantire prestazioni migliori, oltre ad avere il vantaggio di una maggiore affidabilità, grazie alla possibilità di sfruttare due fonti energetiche e per la minore sollecitazione del compressore derivante da un miglior dimensionamento del sistema edificio-impianto.