

Focus sistemi ibridi


La **riqualificazione** energetica degli impianti **condominali**

Attraverso l'analisi di due casi di studio si evidenzia il vantaggio di poter utilizzare una pompa di calore ad alta temperatura in una configurazione ibrida

S. Ronca*

L' introduzione di forme di incentivazione dei sistemi energetici degli edifici, e in modo particolare del Superbonus 110%, ha posto al centro dell'attenzione la condizione del parco edilizio residenziale in Italia, costituito da edifici nella maggioranza dei casi costruiti prima del 1976 con scarsa attenzione per l'aspetto energetico. L'esigenza di puntare su tecnologie in grado di assicurare significativi miglioramenti nelle prestazioni e nel contenimento delle emissioni inquinanti, requisito essenziale per accedere ai vari incentivi, ha permesso di evidenziare, forse per la prima volta, il potenziale ruolo delle pompe di calore nel contesto di riqualificazione energetica degli edifici.

In condizioni di funzionamento ottimali, i vantaggi delle pompe di calore sono ineguagliati da qualsiasi

altra tecnologia, che pertanto oggi è di fatto la scelta privilegiata nel caso di abitazioni mono o bifamiliari, oppure in appartamenti termoa autonomi, sia di nuova costruzione che in caso di riqualificazione energetica completa con abbinamento a impianto di distribuzione a bassa temperatura.

In determinati contesti, tuttavia, è necessario far ricorso a soluzioni ibride caldaia-pompa di calore, in luogo di una pompa di calore pura. Una situazione tipica è quella di edifici non bene isolati in zone climatiche con temperature esterne rigide, dove la caldaia

subentra solo quando è necessario, ad esempio nei giorni più freddi dell'anno quando la sola pompa di calore farebbe "fatica" a funzionare con la massima efficienza. Il sistema di gestione elettronico a bordo farà in modo che l'edificio sia riscaldato sempre nel modo migliore e più economico possibile, privilegiando il funzionamento della pompa di calore ogni volta che ci siano le condizioni più vantaggiose.

Nell'approfondimento che segue vogliamo però dedicarci a un'applicazione ancora abbastanza comune, quella della riqualificazione degli

impianti condominiali centralizzati, in particolare dove vengono mantenuti gli impianti a radiatori esistenti. Nel momento in cui si affronta un intervento di questo tipo, non si possono non considerare le caratteristiche peculiari dell'impiantistica condominiale, caratterizzata da sottosistemi di generazione costituiti da caldaie, spesso anche non a condensazione, e, radiatori come corpi scaldanti. Tali impianti spesso operano con regolazione a temperatura di mandata fissa, comandati da un orologio programmatore, o nella migliore delle ipotesi hanno una regolazione climatica, che tuttavia presenta curve climatiche con valori di temperatura massima molto elevati corrispondenti alle condizioni di progetto. I valori di temperatura impostati sono necessari al fine di superare le perdite di distribuzione e garantire che i radiatori presenti nei diversi locali possano soddisfare le condizioni di progetto.

È ben noto infatti che la potenza termica emessa da un radiatore è funzione della differenza tra la temperatura media dell'acqua fra ingresso e uscita e la temperatura dell'aria ambiente. La norma di riferimento da

considerare è la UNI EN 442:2015, da cui discende la relazione esponenziale seguente:

$$P = \frac{(\theta_{in} - \theta_{amb})^n}{70 - 20} P_{nom}$$

dove,

θ_{in} : temperatura media del fluido tra ingresso e uscita dal radiatore [°C];

θ_{amb} : temperatura dell'aria ambiente [°C];

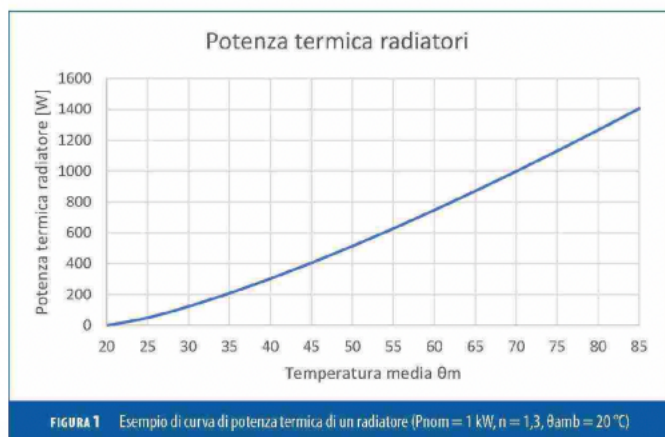
P : potenza termica del radiatore (o elemento del radiatore) anelle condizioni effettive (θ_{in} ; θ_{amb}) [W];

P_{nom} : potenza termica nominale del radiatore nelle condizioni di riferimento (70 °C, 20 °C) [W];

n : esponente caratteristico della tipologia di elemento.

Come si può notare nel grafico di Figura 1, un radiatore a potenza nominale di 1 kW, con una temperatura media di 55 °C, presenta una potenza termica effettiva di 600 W, circa il 60% di quella nominale.

Nel momento in cui si impiegano pompe di calore, è primario obiettivo minimizzare la temperatura di mandata, al fine di massimizzare il COP della pompa di calore stessa (per ogni grado di temperatura in meno, si incrementa infatti il COP di circa 2-2,5%).



La presenza o meno di una contestuale riqualificazione dell'involucro edilizio determina un chiaro effetto sulla potenza di progetto dell'edificio e dei singoli locali; solo a valle della definizione dell'intervento edilizio è possibile verificare quale sia la temperatura media minima dell'acqua d'impianto tale da garantire la copertura del carico di progetto, ipotizzando il mantenimento dei radiatori esistenti.

Tuttavia, non sempre è possibile diminuire in modo significativo la temperatura di mandata del sistema in condizioni di progetto (il valore massimo della curva climatica), soprattutto per i condomini con impianti centralizzati per i quali è necessario tenere in considerazione anche le perdite termiche nella rete di distribuzione. In tali casi, in funzione anche della potenza termica complessiva in gioco, pare più naturale ipotizzare l'installazione di un sistema ibrido caldaia-pompa di calore, in luogo di una pompa di calore pura.

A prescindere tuttavia da questo, se si vuole garantire la massima copertura annuale con la pompa di calore, può diventare importante avere a disposizione una pompa di calore elettrica in grado di operare anche a temperature più elevate rispetto ai classici 55 °C.

Sistemi ibridi commerciali e parametri chiave di funzionamento

Quando si parla di applicazioni di sistemi ibridi caldaia-pompa di calore condominiali (o analogamente impiegati in edifici del terziario, edifici pubblici, alberghi ecc.), si usa normalmente la terminologia sistemi ibridi "commerciali", per distinguerli dai ben più noti sistemi ibridi destinati al residenziale.

Ai fini dell'accesso ai meccanismi di incentivazione così come attualmente definiti (detrazioni fiscali e Conto Termico), è necessario che il sistema ibrido sia costituito da pompa di calore e caldaia a condensazione, espressamente concepiti dal costruttore per funzionare in abbinamento tra loro, rispettando tre condizioni:

- il rapporto tra la potenza termica utile nominale della pompa di calore e quella della caldaia debba essere sempre $\leq 0,5$;
- il COP della PdC deve essere \geq ai valori minimi definiti da ciascun specifico sistema di incentivazione;
- la caldaia deve essere del tipo a condensazione e il suo rendimento termico utile a carico pari al 100% della potenza termica utile nominale deve essere $\geq 93 + 2 \log P_{tr}$,

Poiché in applicazioni di questo tipo le potenze termiche richieste dagli edifici, anche a valle di riqualificazione energetica, sono comunque significative, l'architettura costruttiva del sistema ibrido prevede tipicamente una pompa di calore elettrica aria-acqua, una caldaia a condensazione, fisicamente separata, e un accumulo inerziale sul quale operano entrambi i generatori. A questo si aggiunge anche l'accumulo per la produzione di acqua calda sanitaria (Figura 2).

Un sistema ibrido può di fatto operare secondo tre diversi regimi di funzionamento:

- solo pompa di calore, dalla temperatura bivalente a salire;
- pompa di calore + caldaia, con pompa di calore in priorità, per temperature comprese fra la temperatura bivalente e la temperatura settata di cut-off (T_c in Figura 3);
- solo caldaia, al di sotto della temperatura dell'aria esterna definita limite, detta temperatura di cut-off, impostata secondo le valutazioni del progettista o gestore dell'impianto.

Dal punto di vista della regolazione e del funzionamento di un sistema ibrido, i parametri chiave che influenzano il funzionamento del sistema, la copertura ottenibile con la pompa di calore e pertanto gli effettivi consumi, sono:

- la temperatura di cut-off, al di sotto della quale si decide di spegnere la pompa di calore elettrica, a prescindere dal fatto che possa ancora funzionare;
- la temperatura massima di esercizio della pompa di calore a una data temperatura esterna: se l'impianto per via delle caratteristiche dei propri corpi scaldanti, deve operare a temperature più elevate, impostando in tal senso la climatica, a un certo punto l'impianto richiederà una temperatura di mandata superiore al limite massimo ammissibile per la pompa di calore, lasciando operare la caldaia.

La combinazione dei due precedenti fattori determina l'effettivo fattore di copertura della pompa di calore elettrica, che, a parità di potenze termiche, può essere più o meno elevato.

Poter utilizzare in sistemi ibridi commerciali pompe di calore ad alta temperatura, in luogo di pompe di calore tradizionali, consente di ottimizzare al meglio le prestazioni energetiche del sistema una volta installato.

Di seguito si descriveranno le caratteristiche tecniche di pompe di calore ad alta temperatura, prendendo come riferimento un prodotto presente sul mercato.

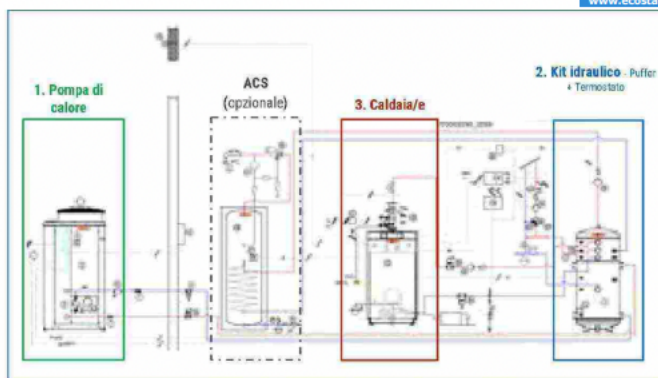


FIGURA 2 Schema tipico di un sistema ibrido commerciale

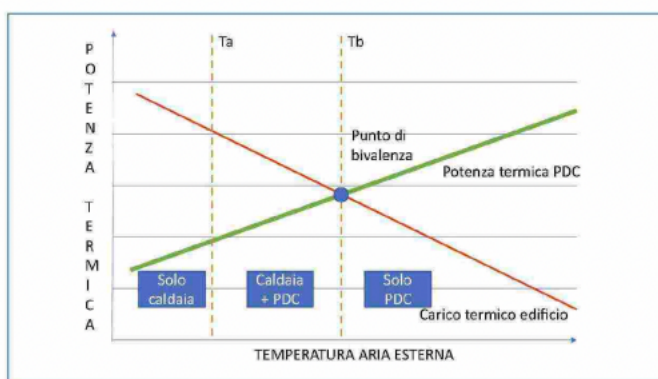


FIGURA 3 Schema delle configurazioni operative del sistema ibrido in funzione della regolazione

Pompe di calore ad alta temperatura e refrigeranti a basso GWP

Dal punto di vista normativo, non esiste una vera e propria definizione di pompa di calore ad alta temperatura. Se si considera la norma UNI EN 14511-2:2018, la condizione di prova definita ad alta temperatura, per le macchine aria-acqua e acqua-acqua, considera una temperatura di mandata in uscita dalla pompa di calore pari a 65 °C; in generale si può considerare "ad alta temperatura" una pompa di calore elettrica in grado di operare con temperature superiori a 55 °C.

Sul mercato sono proposti molti prodotti ad alta temperatura per singole

unità immobiliari, tuttavia sono meno frequenti pompe di calore aria-acqua di potenza maggiore, abbinabili anche a sistemi ibridi destinati ad applicazioni condominiali.

Si considera nel caso in esame una pompa di calore ad alta temperatura con un campo di lavoro in termini di temperatura descritto in Figura 4. Come si può notare, la macchina può operare fino a 65 °C con aria fra -5 e 10 °C, garantendo 62 °C anche con aria a -10 °C.

In Figura 5 si possono osservare i valori di COP, fermo restando le prestazioni comunque interessanti anche a temperatura dell'acqua a 65 °C.

Caratteristica particolare del prodotto è anche l'impiego di un refri-

gerante a basso GWP, l'R454C (miscela di R410 A e dell'HFO R1234yf), caratterizzato da un GWP pari a 146 e quindi inferiore alla soglia di 150, che definisce il limite minimo di assoggettabilità alla disciplina F-gas (così come definita

dal Regolamento UE 517/14 e dalla sua attuazione nazionale). Si tratta di un refrigerante A2L (secondo la classificazione della UNI EN 378-1), pertanto leggermente infiammabile.

Con un campo di lavoro così ampio

è possibile operare nella maggior parte dei casi anche in presenza di radiatori esistenti non sostituiti che richiedono una curva climatica con temperature più elevate per soddisfare il carico, aumentando la copertura della pompa di calore con i sistemi ibridi.

Caso studio: edificio condominiale a Verona e Firenze

Allo scopo di analizzare il vantaggio di poter utilizzare una pompa di calore ad alta temperatura in una configurazione ibrida, si è considerato un caso studio relativo a un condominio, composto da due palazzine affiancate (Figura 6), con le seguenti caratteristiche:

- superficie utile riscaldata: 4215 m²
- numero unità: 47.

Il condominio è oggetto di riqualificazione energetica, con la realizzazione di un sistema a cappotto e la sostituzione di serramenti, che ha ridotto la potenza termica di progetto. Nonostante questo, per soddisfare il carico nei locali più critici, la temperatura di mandata di progetto non può scendere al di sotto di 65 °C.

Si considera l'applicazione del caso studio in due diverse località: Verona (zona climatica E) e Firenze (zona climatica D). Il sistema ibrido scelto è caratterizzato da:

- pompa di calore con potenza termica nominale pari a circa 70 kW
- n. 2 caldaie a condensazione modulanti con potenza nominale da 240 kW

Si confrontano fra loro una pompa di calore standard e una pompa di calore ad alta temperatura, di potenza termica analoga, accoppiate alle medesime caldaie a condensazione a comporre un sistema ibrido certificato.

Al variare della temperatura di cut-off, e al variare della temperatura massima di mandata ammissibile, pari a 65 °C per la pompa di calore ad alta temperatura e 55 °C per la pompa di calore standard, si ottengono i risultati riportati in Tabella 1, considerando calcoli eseguiti in regime standard (asset rating) secondo le norme UNI TS 11300. La curva climatica impostata nell'edificio prevede una temperatura massima di 65 °C alle condizioni di progetto, a valle della riqualificazione energetica. Nel caso di Verona, le temperature medie mensili di mandata variano da 55,1 °C di gennaio ai circa 40 °C di aprile e ottobre.

Chiaramente le differenze più marcate sono relative soprattutto alla percentuale di copertura ottenibile con le pompe di calore sul fabbisogno energetico

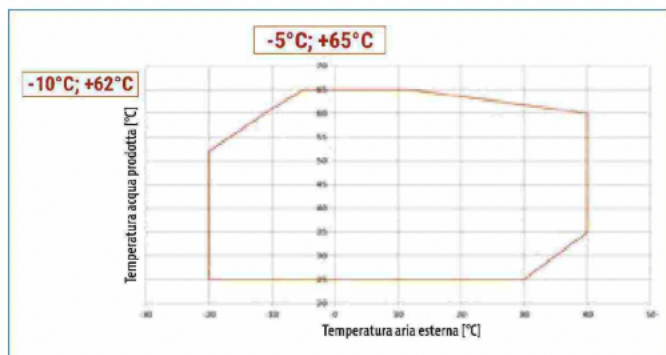


FIGURA 4 Campo di lavoro Pompa di calore ad alta temperatura

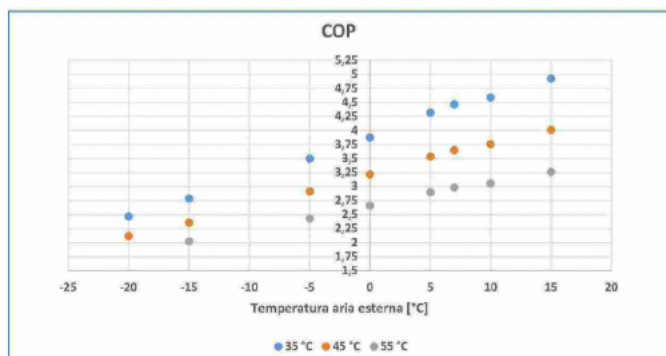


FIGURA 5 Andamento del COP per diverse temperature di mandata al variare della temperatura aria esterna



FIGURA 6 Rendering 3D del complesso condominiale oggetto di simulazione

in riscaldamento.

Va precisato che le due pompe di calore presentano un andamento delle prestazioni leggermente diverso fra loro, con quella standard che produce una potenza termica superiore a temperature più elevate, che rendono maggiore la copertura estiva in sanitario.

Si può osservare, come prevedibile, che con un clima più rigido, poter beneficiare della pompa di calore ad alta temperatura consente di migliorare la copertura ottenibile con la pompa di calore elettrica di quasi il 14% (in termini relativi) rispetto alla situazione standard.

Si è sviluppata anche una simulazione dinamica oraria secondo la UNI EN ISO 52016, ipotizzando di considerare la condizione di temperatura di cut off a -15°C , al fine di verificare con maggiore precisione l'effettiva copertura ottenibile e il valore di COP mensile raggiungibile.

Effettuando il calcolo per la stagione di riscaldamento, con profili di occupazione tipici per appartamenti (definiti dal progetto di norma), si ottengono risultati in linea con quelli del metodo semi-stazionario mensile.

I valori di COP calcolati per la pompa di calore ad alta temperatura, considerando anche l'effetto delle perdite a carico parziale secondo l'algoritmo della UNI TS 11300 4, sono comunque molto interessanti nonostante i valori elevati di temperatura di mandata (Figura 7).

Conclusioni

Sia attraverso considerazioni di carattere tecnico sia attraverso il caso studio presentato, si è evidenziato come nella riqualificazione condominiale, specialmente in zona Climatica E (o chiaramente anche in climi più rigidi), l'impiego nei sistemi ibridi di pompe di calore elettriche ad alta temperatura consente di aumentare in modo significativo la percentuale dei fabbisogni coperti da pompa di calore.

Nei condomini, per quanto oggetto di riqualificazione, considerando le difficoltà operative della distribuzione e la difficoltà nel sostituire totalmente i sistemi di emissione esistenti, nell'operatività reale si è spesso costretti a operare con temperature di mandata elevate per assicurare un adeguato comfort a tutti gli utenti. L'effetto delle dispersioni termiche della rete di distribuzione condiziona l'impostazione della curva climatica. Ciò concretamente porta a una riduzione della percentuale di copertura della pompa di calore se quest'ultima è vincolata a una temperatura massima di 55°C , o inferiore.

L'impiego di pompe di calore ad alta temperatura

TABELLA 1 Confronto in regime standard fra pompa di calore standard e pompa di calore ad alta temperatura per le due località scelte

VERONA							
PDC ALTA T 65 °C				PDC STANDARD 55 °C			
$T_{cut\ off}$	E_{pgl}	SPF calcolato	% PDC	$T_{cut\ off}$	E_{pgl}	SPF calcolato	% PDC
°C	kWh/m ²			°C	kWh/m ²		
-15	66,27	3,13	62,33%	-15	69,24	3	54,77%
0	66,52	3,17	60,67%	0	68,91	3	54,77%
5	71,07	3,39	42,77%	5	70,93	3,17	44,60%

FIRENZE							
PDC ALTA T 65 °C				PDC STANDARD 55 °C			
$T_{cut\ off}$	E_{pgl}	SPF calcolato	% PDC	$T_{cut\ off}$	E_{pgl}	SPF calcolato	% PDC
°C	kWh/m ²			°C	kWh/m ²		
-15	36	3,24	90,73%	-15	39,02	3,16	88,48%
0	36	3,24	90,73%	0	39,02	3,16	88,48%
5	37,78	3,26	80,03%	5	40,09	3,23	81,00%

TABELLA 2 Valori delle prestazioni energetiche ottenute con simulazione dinamica in località Verona

VERONA – SIMULAZIONE ORARIA							
PDC ALTA TEMPERATURA				PDC STANDARD			
$T_{cut\ off}$	E_{pgl}	SPF calcolato	% PDC	$T_{cut\ off}$	E_{pgl}	SPF calcolato	% PDC
°C	kWh/m ²			°C	kWh/m ²		
-15	75,23	3,13	62,68%	-15	78,91	2,98	55,14%

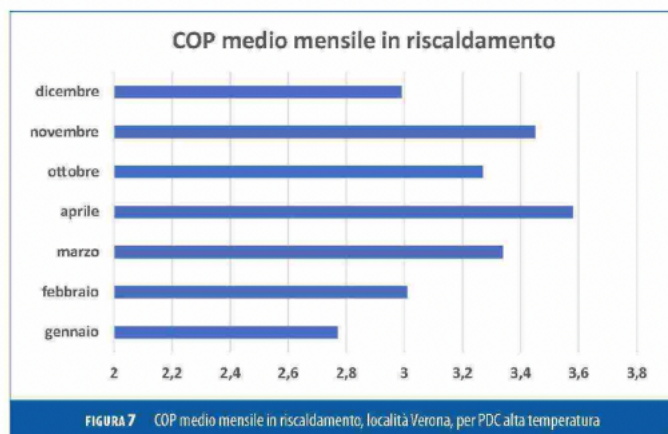


FIGURA 7 COP medio mensile in riscaldamento, località Verona, per PDC alta temperatura

consente di estendere il periodo di funzionamento della pompa di calore, con i conseguenti vantaggi connessi all'impiego del vettore elettrico, in particolare il possibile accoppiamento con

impianti fotovoltaici e l'incremento della percentuale di autoconsumo.

* Simone Ronca, Viessmann Italia