

Le pompe di calore per una climatizzazione sostenibile

Le pompe di calore rappresentano uno strumento prioritario per la sfida della decarbonizzazione nell'ambito della climatizzazione, grazie allo sfruttamento di risorse rinnovabili quali aria, acqua e terreno. Esse possono fornire, inoltre, importanti vantaggi energetici ed economici per il sistema Paese, per raggiungere gli obiettivi del Piano Nazionale Clima ed Energia e per gli utenti finali. ENEA contribuisce al trasferimento tecnologico e alla loro diffusione con attività di ricerca volte ad individuare le possibili integrazioni con altre tecnologie, quali solare termico, fotovoltaico e accumulo, con l'obiettivo di migliorarne l'efficienza e l'eco-compatibilità.

DOI 10.12910/EAI2020-051

di **Raniero Trinchieri e Maurizio Pieve**, Laboratorio Sviluppo Processi Chimici e Termofluidodinamici per l'Energia, ENEA

Il naturale processo di trasferimento di calore che avviene spontaneamente da un corpo a temperatura più alta ad uno a temperatura inferiore può essere invertito attraverso l'impiego di macchine frigorifere. Esse consentono il trasferimento di calore da una sorgente ad un pozzo termico, a temperatura maggiore della sorgente, a spese di energia immessa nel sistema, che può essere meccanica o termica. Gli scambi di calore avvengono attraverso un fluido intermedio, detto fluido refrigerante. L'effetto utile delle macchine frigorifere propriamente dette (es. il frigorifero domestico) è la quantità di calore asportata dalla sorgente termica, mentre per le *pompe di calore* (PdC) l'effetto utile è rappresentato dalla quantità di calore trasferita al pozzo termico (ossia all'ambiente da riscaldare).

Le pompe di calore possono essere classificate in base alla sorgente esterna di energia sfruttata (l'aria, l'acqua o il terreno), in base al ciclo termodinamico di riferimento (a compressione di vapore, ad assorbimento o ad adsorbimento) e in base al pozzo

termico (aria o acqua). La quantità di energia utilizzata dalla macchina per il suo funzionamento fornisce un'indicazione delle sue prestazioni, se messa in relazione all'effetto utile. Più precisamente, si definisce COP (Coefficient of Performance) di una pompa di calore il rapporto tra l'effetto utile (l'energia termica ceduta) e l'energia spesa (costituita dal corrispettivo del lavoro meccanico, nel caso di PdC elettriche, oppure l'energia termica del combustibile, nel caso di PdC a gas). Dal punto di vista strettamente termodinamico, il COP è sempre maggiore di uno poiché l'energia ceduta al pozzo termico è la somma dell'energia prelevata dalla sorgente termica e del lavoro fornito alla macchina per il processo di compressione, anch'esso trasformato in calore e trasferito al pozzo termico.

Per una comparazione tra le prestazioni delle pompe di calore e delle caldaie a condensazione, che ad oggi costituiscono i generatori termici più impiegati in ambito residenziale, è opportuno far riferimento anche ad un altro indicatore denominato *efficienza energetica stagionale del riscaldamento*

d'ambiente (η_s) definito come il rapporto tra l'energia termica richiesta dall'utenza nella stagione di riscaldamento e il consumo annuo di energia primaria necessaria per il funzionamento dell'apparecchio impiegato per il riscaldamento d'ambiente. Tale parametro non può assumere valori superiori all'unità per le caldaie, siano esse convenzionali o a condensazione. Infatti, il loro principio di funzionamento consiste nella produzione di energia termica per combustione di un materiale di origine fossile, tipicamente gas naturale. In virtù delle perdite di processo (es. imperfetta combustione, perdite di trasmissione, perdite termiche connesse con i fumi di scarico ecc.), l'energia termica che giunge all'utente è senz'altro inferiore a quella primaria, per cui η_s risulta inferiore a 1. Di contro, l' η_s delle pompe di calore, per il principio di funzionamento sopra descritto, assume sempre valori superiori all'unità e può essere incrementato attraverso il processo di sviluppo tecnologico delle macchine e il maggiore ricorso in percentuale a fonti di energia rinnovabile per la



Fig. 1 La pompa di calore come elemento centrale di un sistema integrato

produzione elettrica, in modo da accrescere la sostenibilità energetica ed ambientale di tale tecnologia.

Miglioramento dell'efficienza

Il processo di sviluppo tecnologico al quale contribuisce l'ENEA con attività di ricerca in ambito nazionale ed internazionale, procede attualmente su due distinti versanti: da una par-

te, il miglioramento dei componenti delle pompe di calore e, dall'altra, l'integrazione con altre tecnologie, per incrementare la quota di energia termica rinnovabile prodotta dal sistema complessivo. Il miglioramento dei componenti si è concentrato prevalentemente nello sviluppo di compressori e scambiatori di calore più performanti. Secondo recenti monitoraggi, l'efficienza delle pompe di

calore è cresciuta del 23% tra il 2007 e il 2013 [1]. Un impulso all'incremento delle prestazioni può essere fornito anche dallo sviluppo degli eiettori ottimizzati, in grado di ridurre le perdite per irreversibilità provocate dalla trasformazione termodinamica di laminazione, tipica dei cicli frigoriferi. Per quanto riguarda l'integrazione, le pompe di calore possono essere convenientemente abbinate al solare termico o fotovoltaico, nonché a sistemi di accumulo termico. Una corretta gestione dei sistemi di generazione termica può accrescere la quota di energia rinnovabile prodotta e trasferita all'utenza. L'incremento dell' η_s può derivare anche da un maggior impiego di energia rinnovabile nella produzione di energia elettrica. La Figura 2 mostra il confronto tra gli η_s di una PdC con COP pari a 3 considerando la ripartizione di fonti energetiche al 2017 (66% fossile e 34% rinnovabile) e quella attesa al 2030 (45% e 55% rispettivamente) secondo gli obiettivi che l'Italia si è prefissata con il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima [2]. Ulteriori miglioramenti dell' η_s possono ottenersi con l'aumento del COP delle PdC e del rendimento del parco di generazione termoelettrica nazionale, η_{el} . L'effetto combinato dei miglioramenti di efficienza energetica e della sostituzione della produzione di energia per

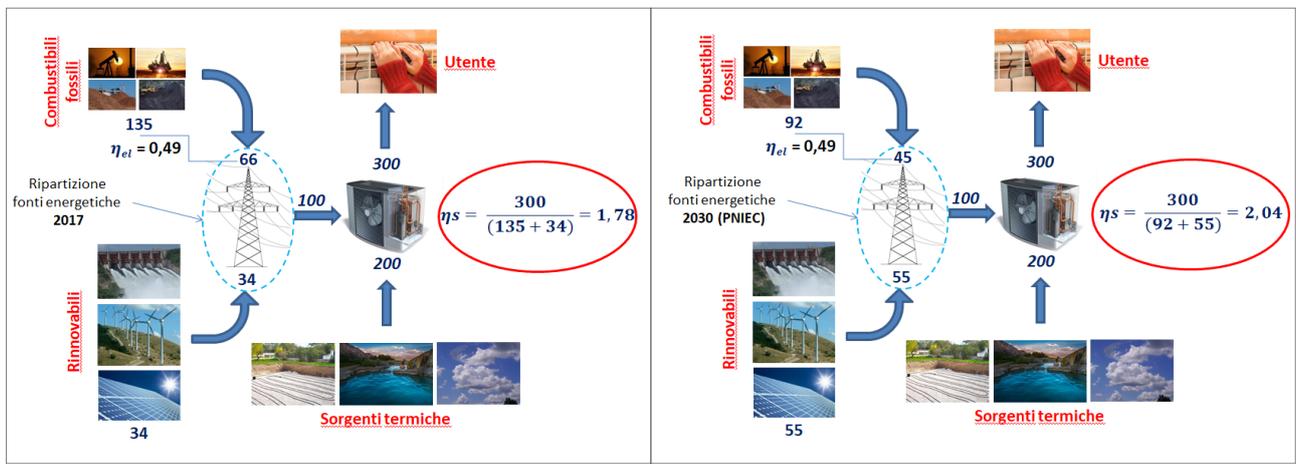


Fig. 2 Effetto sull' η_s dell'aumento della quota rinnovabile nella generazione elettrica: 2017 (a sinistra) vs 2030 (a destra)

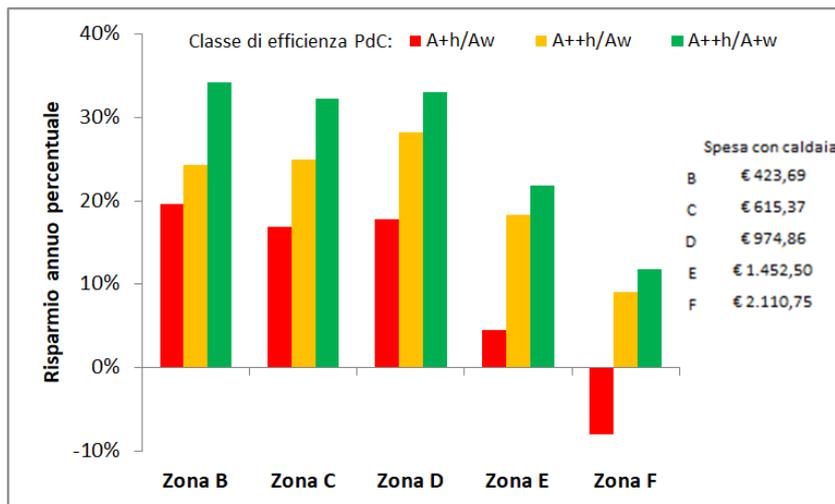


Fig. 3 Risparmio annuo percentuale per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria con una pompa di calore rispetto a una caldaia a gas a condensazione

riscaldamento e acqua calda sanitaria (ACS), da fonti fossili, con quella da pompe di calore, prevista dal PNIEC per il 2030, porterebbe a una riduzione delle emissioni di CO₂ nel settore civile del 39% circa rispetto al livello del 2005. Tale riduzione, sarebbe attribuibile per il 59% alla penetrazione delle pompe di calore e per il 41% alla riduzione dei consumi per effetto degli obiettivi di efficienza energetica. La diffusione delle pompe di calore, oltre a garantire miglioramenti dell'efficienza energetica, penetrazione delle fonti rinnovabili e riduzione delle emissioni climalteranti, consente altri importanti benefici sotto il profilo ambientale e della qualità dell'aria in virtù di riduzioni importanti di emissioni di inquinanti in atmosfera e quindi all'interno delle abitazioni [3].

Le attività ENEA

Sul fronte della sostenibilità ambientale, ENEA partecipa attivamente anche a progetti di ricerca che hanno per obiettivo la caratterizzazione di fluidi refrigeranti di nuova generazione, aventi un minore impatto in termini di effetto serra (GWP) e di potenziale distruttivo dello strato di ozono atmosferico.

Nonostante i benefici sopra esposti connessi all'uso delle pompe di calore, la loro diffusione sul mercato è limitata sostanzialmente alla tipologia aria-aria, prevalentemente impiegata per il condizionamento estivo. Sono invece molto meno diffuse le altre tecnologie, tra cui le aria-acqua, sfavorite da costi di installazione e di acquisto elevati. A tal proposito, il potenziale di diffusione di questa tipologia di pompe di calore può essere stabilito valutando la convenienza economica per l'utente finale rispetto alle tecnologie concorrenti, in termini di risparmio conseguibile sia su base annua che sull'intero ciclo di vita. Tramite un articolato studio parametrico condotto da ENEA [4], effettuato differenziando le pompe di calore in base alla loro classe di efficienza (definita dal reg. UE 811/2013 con i simboli A, A+ o A++ e pedice "h" o "w" in modalità riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria rispettivamente) e alla zona climatica in cui è ubicata l'abitazione, è stata calcolata la spesa energetica annuale per il riscaldamento e la produzione di acqua calda per un'abitazione media in varie località italiane. Semplificando, per ciascuna delle cinque zone climatiche italiane considerate (accorpando la A con la B) si prende a riferimento un determinato fabbisogno

termico di energia per il riscaldamento e l'acqua calda, al quale corrisponde per una pompa di calore un fabbisogno di energia elettrica dipendente dall'efficienza complessiva della macchina stessa e, per una caldaia a condensazione, un fabbisogno di gas naturale. Dopo aver calcolato tali fabbisogni, conoscendo i costi dei vettori energetici, riferiti alla fine del 2018 ed opportunamente differenziati in base alla zona climatica, si osserva (Figura 3) che i costi di esercizio di una pompa di calore sono praticamente sempre inferiori a quelli di una caldaia. In termini generali, risparmi consistenti possono essere conseguiti con una macchina di efficienza almeno in classe A++h, con valori del 28÷33% in zona D e del 18÷22% in zona E. In zona F il risparmio è inferiore, compreso tra il 9% e il 12%. Per quanto riguarda le zone B e C, pur essendo alto il risparmio percentuale, specialmente con PdC appartenenti alle classi di efficienza A++h o A+w, nondimeno il risparmio effettivo è piuttosto basso, a causa del limitato fabbisogno termico invernale delle utenze ubicate in tali zone climatiche.

Oltre all'analisi dei costi di esercizio, per valutare la convenienza economica di una tecnologia si devono prevedere anche tutti gli altri costi da sostenere per l'intero ciclo di vita utile della macchina, compreso l'investimento, la manutenzione ed eventuali incentivi. Come parametro di riferimento si considera il cosiddetto *massimo costo aggiuntivo*, ovvero quello addizionale, rispetto al suo costo capitale, a cui può essere acquistata una tecnologia alternativa ad una di riferimento (ad es. la caldaia a gas a condensazione), tale da garantire un risparmio alla fine della sua vita operativa. In altri termini, il risparmio sui costi annuali di esercizio conseguito con una tecnologia alternativa, deve consentire di compensare e recuperare l'investimento maggiore entro la vita utile della macchina, fissata convenzionalmente in 15 anni. Essendo un parametro di confronto, se è positivo significa che la pompa di

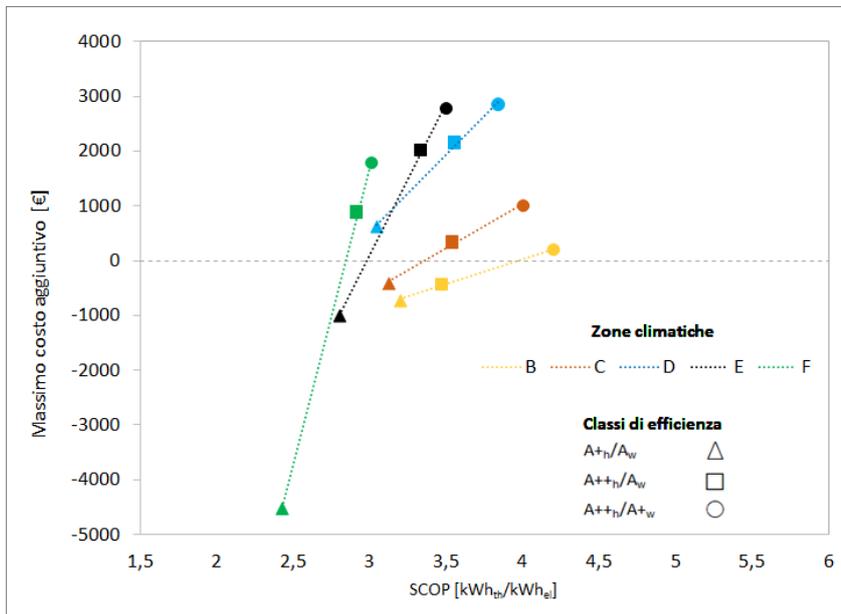


Fig. 4 Massimo costo aggiuntivo di una pompa di calore aria-acqua rispetto ad una caldaia a condensazione in funzione dello SCOP, per zona climatica

calore è economicamente conveniente rispetto alla caldaia a condensazione, e viceversa se è negativo. L'entità del massimo costo aggiuntivo, inoltre, fornisce un'indicazione quantitativa della convenienza economica.

Fissati i costi medi di acquisto e installazione per la pompa di calore e per la caldaia, e considerando l'incentivo della detrazione fiscale del 65% sui co-

sti di acquisto ed installazione attualmente disponibile per la sostituzione dei generatori di calore, si ottengono i risultati riassunti nella Figura 4 (in cui lo SCOP è stato assunto pari a $2,5 \cdot \eta_s$, come da Dir. UE 2012/27). Da essa si traggono importanti indicazioni sulla convenienza economica della pompa di calore in rapporto alla classe di efficienza e alla zona climatica in cui

l'abitazione si trova. In particolare, si osserva che le pompe di calore più performanti garantiscono risparmi economici rispetto alla principale tecnologia concorrente in quasi tutte le zone climatiche. Impiegando un altro parametro come il Valore Attuale Netto (VAN), all'interno del quale il flusso di cassa è attualizzato secondo un certo tasso di sconto, i risultati sono di poco differenti. Lo studio ENEA è stato completato con un'estesa analisi di sensibilità dei risultati al variare delle principali grandezze, come il fabbisogno di energia termica, i prezzi del gas e dell'energia elettrica, il tasso di interesse e il tempo di ritorno dell'investimento.

La pompa di calore, quindi, ha tutte le potenzialità per affermarsi come tecnologia di punta tra quelle per la decarbonizzazione efficiente dei settori finali, con particolare riguardo a quello della climatizzazione, e per il raggiungimento degli ambiziosi obiettivi indicati nel PNIEC, apportando nello stesso tempo vantaggi energetici, economici ed ambientali agli utenti ed al sistema nel suo complesso. Questo spiega gli investimenti di ricerca in ENEA per supportare lo sviluppo di una promettente tecnologia ecosostenibile per il riscaldamento/raffrescamento.

BIBLIOGRAFIA

1. *Heat Pumps: Integrating technologies to decarbonize heating and cooling*, EU Copper Institute, 2018
2. Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima, Ministero dello Sviluppo Economico, 2019
3. Tavolo di filiera sulle pompe di calore, Proposte e indicazioni di intervento per il ruolo delle pompe di calore nel PNIEC, 2019
4. M. Pieve, R. Trinchieri, The heat-pump market in Italy: an in-depth economic study about the reasons for a still unexpressed potential, *Clean Energy* (2019), 126-143