



*Climate change: melting glaciers, diminishing water resources, trapped sunrays increase global warming*



## **POMPA DI CALORE IBRIDA A DOPPIA SORGENTE E INVERTIBILE CON R32**

**D. DEL COL  
UNIVERSITÀ DI PADOVA**



## **SVILUPPO DI UNA POMPA DI CALORE CON R32 IBRIDA E INVERTIBILE A DOPPIA SORGENTE**

Davide Del Col<sup>1</sup>, Marco Azzolin<sup>1</sup>, Stefano Bortolin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria Industriale - University of Padova, Via Venezia, 1 – I 35131 Padova, Italy

Giulio Busato<sup>2</sup>, Alessandro Zerbetto<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Hiref Spa, Viale Spagna, 31/33, 35020 Tribano (Padova), Italy

### **Astratto**

Lo sviluppo di nuove tecnologie HVAC con basso impatto ambientale al minimo costo possibile è un obiettivo importante nell'industria della refrigerazione e del condizionamento dell'aria. Negli ultimi anni, gli accordi e le normative internazionali impongono una riduzione della produzione e dell'utilizzo di HFC, ma il raggiungimento di elevate prestazioni stagionali rimane un aspetto cruciale. Questo lavoro presenta lo sviluppo di una pompa di calore innovativa a doppia sorgente (aria e terreno): può funzionare in modalità di riscaldamento e raffreddamento, ha azionamenti a velocità variabile, è progettata e realizzata nel quadro del progetto europeo GEOTeCH. Questa unità è stata sviluppata allo scopo di utilizzare sia la sorgente aria che la sorgente terreno, con l'obiettivo di risparmiare parzialmente i costi di investimento delle sonde geotermiche senza penalizzare le prestazioni stagionali. Sul lato dell'aria, questo prototipo è stato testato sia con una batteria alettata tradizionale che con un innovativo scambiatore di calore a microcanali. Per soddisfare i nuovi requisiti di basso impatto di riscaldamento globale, l'unità attuale adotta R32 come fluido di lavoro. Dopo aver presentato l'unità, vengono presentati alcuni risultati dei test in modalità di raffreddamento che utilizzano l'aria come sorgente esterna, confrontando le prestazioni con la batteria alettata e quelle con lo scambiatore a microcanali.

### **Introduzione**

Le pompe di calore geotermiche possono fornire elevati valori di rendimento stagionale e possono svolgere un ruolo importante nella riduzione dell'emissione indiretta di anidride carbonica. Invece, le emissioni di anidride carbonica dirette sono il risultato del rilascio di refrigeranti HFC in atmosfera e vengono affrontate dalle nuove normative. In Europa, il regolamento (UE) n. 517/2014 sui gas fluorurati ad effetto serra (F-gas) prevede l'introduzione di una fase di abbattimento degli HFC nei prossimi anni; nell'ottobre 2016 durante la 28a riunione delle parti (MOP) Kigali (Ruanda), 197 paesi hanno adottato un emendamento al protocollo di Montreal per ridurre l'uso di refrigeranti HFC. In un simile contesto, qui viene presentata una pompa di calore a doppia sorgente invertibile operante con R32 (GWP = 675). Il refrigerante R32 è stato studiato all'Università di Padova fin dall'inizio di questo secolo (Cavallini et al., 2001). La pompa di calore attuale è stata progettata nel quadro del progetto europeo GEOTeCH, finanziato dal programma comunitario Horizon 2020: esso intende sviluppare nuove tecnologie per le sonde geotermiche e realizzare pompe di calore a doppia sorgente con l'obiettivo di contribuire alle

politiche energetiche e ambientali dell'UE. Le pompe di calore invertibili a doppia sorgente danno la possibilità di scambiare calore con aria o acqua. In letteratura, si trovano alcuni lavori sulle pompe di calore a doppia sorgente (Urchueguía et al., 2008; Pardo et al. 2010), ma altre ricerche sono necessarie per migliorare la strategia di controllo e per studiare le prestazioni stagionali.

### **Prototipo di Pompa di Calore a Doppia Sorgente**

Il layout della pompa di calore invertibile a doppia sorgente sviluppata e testata nel presente progetto è riportata in Fig. 1 (solo per la modalità raffreddamento). Il sistema è composto da un compressore scroll a velocità variabile, tre scambiatori di calore a piastre (BPHE) e uno scambiatore di calore refrigerante-aria. I tre scambiatori BPHE sono dedicati a: 1. scambiare calore con il fluido del circuito geotermico, 2. produzione dell'acqua per il sistema di riscaldamento / raffreddamento dell'edificio e 3. produzione di acqua calda domestica. Nella macchina sono stati installati due diversi tipi di scambiatori di calore aria-refrigerante: uno scambiatore di calore a batteria alettata e uno scambiatore di calore innovativo a microcanali che può funzionare sia come condensatore che come evaporatore. La tecnologia degli scambiatori di calore a microcanali è utilizzata per ottenere buone prestazioni con una riduzione significativa della carica del refrigerante all'interno della macchina, essendo questa una caratteristica desiderabile con refrigeranti infiammabili o leggermente infiammabili (R32 è nella classe A2L). Questo sistema può funzionare in quattro diverse modalità: riscaldamento (condensazione in BPHE), modalità di raffreddamento (evaporazione in BPHE); produzione di acqua calda sanitaria; recupero completo con produzione contemporanea di acqua calda e raffreddamento. Considerando, ad esempio, il caso in cui la pompa di calore a doppia sorgente funziona in modalità di raffreddamento (Figura 1), il fluido dopo la compressione viene condensato scambiando calore con il terreno o nello scambiatore di calore a microcanali (usando l'aria come liquido secondario) e poi, dopo la valvola di espansione, esso evapora nel BPHE del circuito utente. In Fig. 2 viene riportata un'immagine della pompa di calore invertibile a doppia sorgente durante la campagna di test.

### **Risultati Sperimentali**

Sono stati eseguiti test sperimentali presso il laboratorio di R & D di Hiref SpA. Le prove sono state eseguite in modalità di raffreddamento con temperatura dell'aria di 30 °C e produzione di acqua fredda nell'intervallo di temperatura da 12 a 7 °C. Il sottoraffreddamento al condensatore e il surriscaldamento all'evaporatore sono stati mantenuti costanti e pari rispettivamente a 1 K e 6 K. Durante i test, la velocità del compressore è stata variata per esaminare le prestazioni a diversi carichi termici. Sia la batteria alettata che gli scambiatori di calore a microcanali sono stati testati, alle stesse condizioni di lavoro, per confrontare le loro prestazioni. Come mostrato nelle Fig. 3 e 4, durante i test, la temperatura di saturazione all'uscita dell'evaporatore diminuisce quando la velocità del compressore aumenta e non si

riscontra alcuna differenza tra le due configurazioni poiché il BPHE installato nel sistema è lo stesso. Considerando il lato del condensatore, la temperatura di condensazione cresce quando la velocità del compressore aumenta ed è inferiore per il caso dello scambiatore di calore a microcanali. Lo scambiatore di calore a microcanali fornisce una prestazione migliore rispetto alla batteria alettata con conseguente aumento del COP a 80 Hz (compreso il consumo degli ausiliari) di circa il 15%.

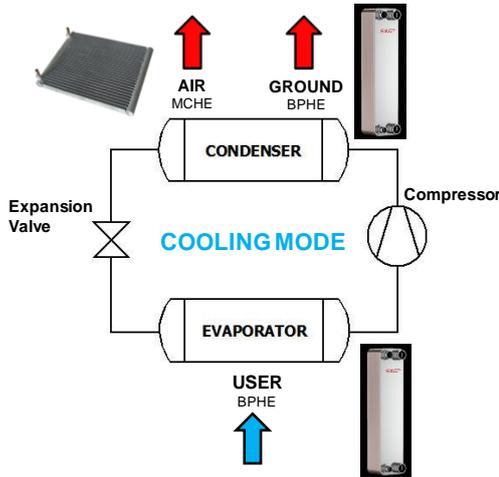


Fig 1: Layout della macchina quando opera in modalità raffreddamento.



Fig 2: Immagine della macchina durante i test effettuati presso Hiref.

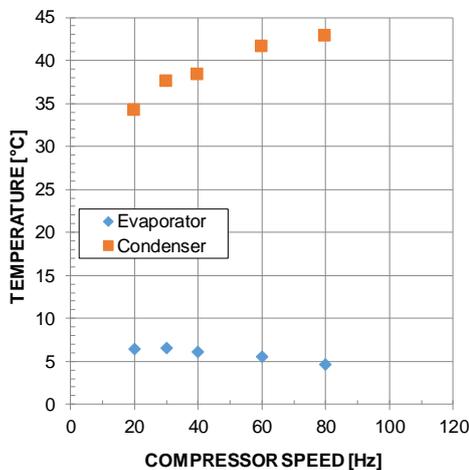


Fig. 3. Temperature di condensazione ed evaporazione in modalità raffreddamento: batteria alettata come condensatore.

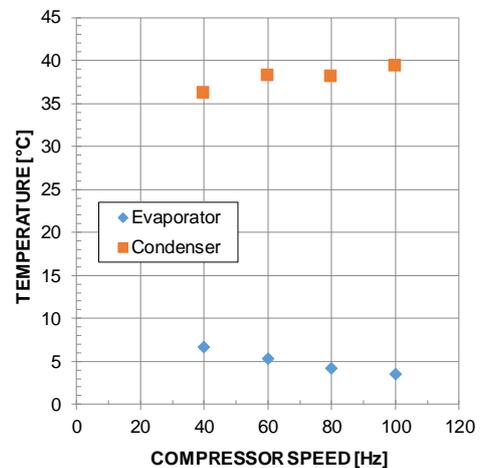


Fig. 4. Temperature di condensazione ed evaporazione in modalità raffreddamento: scambiatore a microcanali come condensatore.

### Stima della Carica al Condensatore

Un modello della pompa di calore invertibile a doppia sorgente è stato sviluppato presso l'Università di Padova ed è stato utilizzato per stimare la carica specifica del refrigerante [ $\text{g kW}^{-1}$ ] presente al condensatore. Infatti, durante il funzionamento, la maggior parte della carica del refrigerante si trova all'interno del condensatore. Nel modello della pompa di

calore gli scambiatori di calore sono discretizzati in diversi elementi e ad ogni elemento sono state applicate delle correlazioni per valutare il coefficiente di scambio termico locale e la caduta di pressione. La frazione di vuoto locale è calcolata con la correlazione Rouhani (1978). Un caso è stato studiato considerando la temperatura dell'aria di 35 °C, la velocità dell'aria di 1,6 m s<sup>-1</sup>, la potenza al condensatore di 11 kW e il sottoraffreddamento di 1 K. I risultati prevedono una riduzione della carica del refrigerante nel condensatore a microcanali di circa il 40% rispetto al caso della batteria.

## **Riassunto**

È stata presentata una pompa di calore a doppia sorgente operante con R32. A seconda della strategia di controllo, sia il terreno che l'aria possono essere utilizzati come fonte, consentendo di ridurre la lunghezza delle sonde geotermiche. La macchina può anche funzionare in modalità di recupero completo con produzione simultanea di acqua fredda e acqua calda. Lato aria, sono stati installati una batteria alettata e uno scambiatore di calore a microcanali. Quando si lavora in modalità di raffreddamento con lo scambiatore di calore a microcanali, è stata ottenuta una migliore prestazione, con una riduzione della carica di refrigerante al condensatore.

## **Ringraziamenti**

Gli autori ringraziano per il supporto del progetto europeo GEOTeCH ([www.geotech-project.eu/](http://www.geotech-project.eu/)) che è stato finanziato da UE nell'ambito di Horizon 2020 (No. 656889).

## **Bibliografia**

- Cavallini A., Censi G., Del Col D., Doretti L., Longo G.A., Rossetto L., 2001, Experimental investigation on condensation heat transfer and pressure drop of new HFC refrigerants (R134a, R125, R32, R410A, R236ea) in a horizontal smooth tube, *Int. Journal of Refrigeration*, 24, 73-87.
- Pardo, N., Montero, A., Martos, J., Urchueguia, J.F., 2010. Optimization of hybrid - ground coupled and air source - heat pump systems in combination with thermal storage, *Appl. Therm. Eng.*, 30, pp. 1073-1077.
- Rouhani, S.Z., 1978. Chapter 12: steady-state void fraction and pressure drop in water-cooled reactors. In: Ginoux, J.J. (Ed.), *Two-Phase Flows and Heat Transfer with Application to Nuclear Reactor Design Problems*, Washington, pp. 241-327.
- Urchueguia, J.F., Zacaes, M., Corberan, J.M., Montero, A., Martos, J., Witte, H., 2008. Comparison between the energy performance of a ground coupled water to water heat pump system and an air to water heat pump system for heating and cooling in typical conditions of the European Mediterranean coast, *Energy Conversion and Management*, 49, pp. 2917-2923.