

La pompa di calore, una soluzione efficiente e sostenibile... anche per le alte temperature

..... Marco Borgarello, Responsabile gruppo di ricerca efficienza energetica - RSE
Lorenzo Croci, Responsabile dei laboratori di efficienza energetica - RSE

L'efficienza energetica è ritenuta strumento cardine per conseguire la tutela dell'ambiente nel complesso percorso di decarbonizzazione dell'economia italiana ed europea recentemente riconfermato dagli impegni definiti dal Green Deal e nel ruolo attivo che privati e amministrazioni pubbliche sono chiamati a dare per favorire la transizione energetica.

In tal senso un ruolo particolarmente importante è affidato al settore residenziale; infatti, circa un terzo del bilancio energetico nazionale è a carico di tale settore di cui circa il 60% è imputabile alla climatizzazione degli edifici. Questo consumo è correlato alla significativa vetustà del parco edilizio, alla presenza dominante di sistemi di generazione a combustibili fossili e alla difficoltà da parte della popolazione ad agire e assumere comportamenti coerenti ad un uso consapevole ed efficiente dell'energia. È una situazione non compa-

tibile con gli obiettivi di decarbonizzazione.

Negli scenari energetici che dunque si configurano, un compito fondamentale sarà affidato proprio alla pompa di calore (PdC): un'apparecchiatura in grado di rigenerare, con un input energetico ridotto, il calore a bassa temperatura catturato da una fonte rinnovabile, rendendolo idoneo a riscaldare in maniera efficiente un edificio.

Tradizionalmente siamo portati a pensare alle pompe di calore in abbinamento a sistemi di emissione a bassa temperatura, ad esempio i classici sistemi a pavimento radiante, perché non in grado di produrre calore ad alta temperatura o per via del basso rendimento atteso. Certo, è risaputo che il rendimento delle pompe di calore (COP) diminuisce al crescere della temperatura di erogazione, ma questo non significa circoscrivere l'impiego di questa tecnologia alle nuove costruzioni con bassa

richiesta di energia e terminali di emissione idonei. È quindi possibile considerare l'impiego delle PdC anche quando sono richieste alte temperature di mandata? Vediamo alcuni spunti di riflessione sul tema alta temperatura nel settore civile, senza dimenticare le applicazioni nell'industria.

Negli ultimi anni si è assistito a una svolta anche per quanto riguarda l'uso dei gas refrigeranti impiegati nelle PdC anche a seguito dell'introduzione di specifiche disposizioni volte alla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra. Oggi assume particolare rilevanza l'indice GWP (Global Warming Potential) e si sta assistendo alla graduale sostituzione dei tradizionali refrigeranti con prodotti più sostenibili e a dalle prestazioni superiori. In sostituzione del R410A (GWP 2088) è ormai molto diffuso il gas R32 (GWP 675). Quest'ultimo refrigerante lo troviamo spesso nelle nuove PdC in abbinamen-

to alla tecnologia EVI (Enhanced Vapor Injection), una tecnologia che permette di ottenere temperature e prestazioni significativamente superiori a quelle di altre tecnologie impiegate nelle macchine aerotermiche convenzionali, facilitando perciò l'impiego delle PdC negli interventi di riqualificazione degli edifici con limitati interventi sui terminali in ambiente. Con questa tecnologia si raggiungono temperature di mandata di 65°C e allo stesso tempo si ottiene una maggiore efficienza al diminuire della temperatura esterna. La tecnologia E.V.I. consiste nel prelevare una parte del refrigerante liquido in uscita dal condensatore che viene successivamente espanso con una valvola di laminazione e inviato ad uno scambiatore di calore a piastre aggiuntivo che funge da sottoraffreddatore. Il vapore ottenuto viene poi iniettato nel compressore a metà del ciclo di compressione incrementando la capacità e l'efficienza del compressore. (FIG 1)

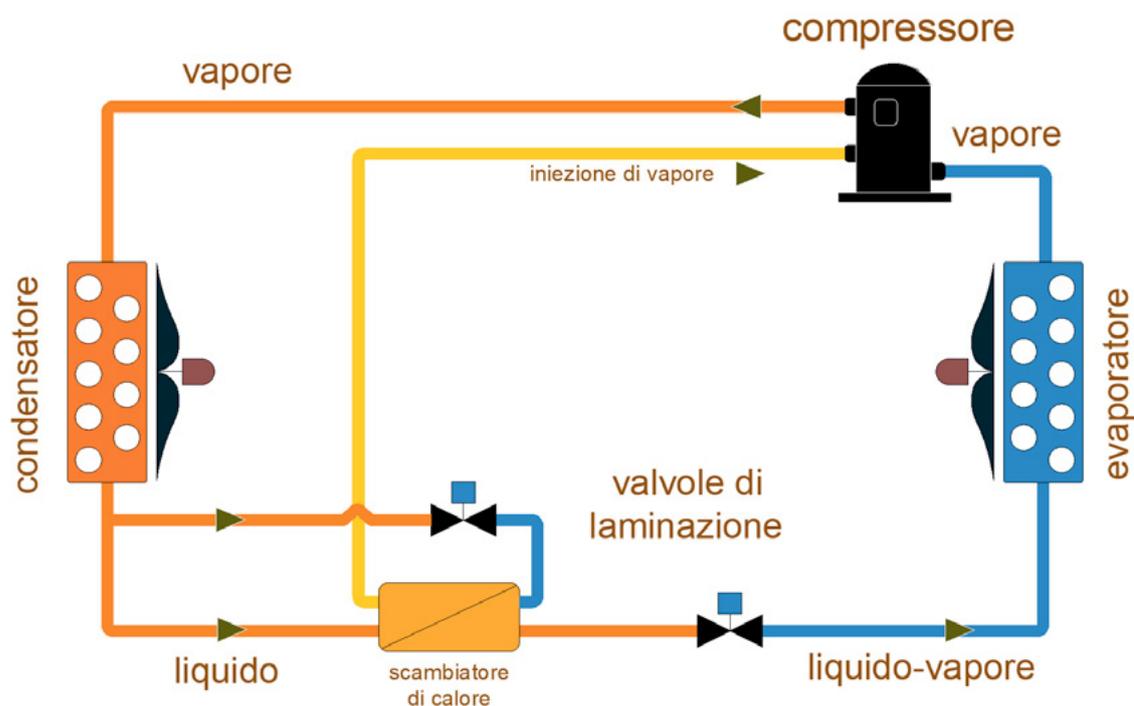


Fig.1 Tecnologia EVI (Enhanced Vapor Injection)

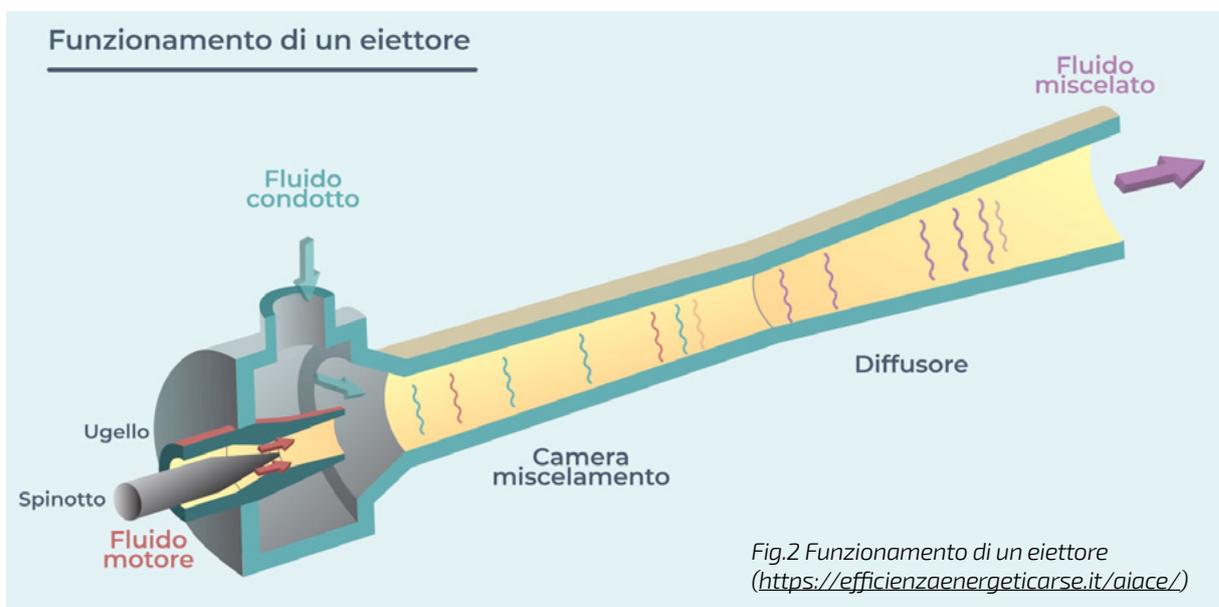
Una seconda soluzione impiegata dalle pompe di calore per produrre acqua calda ad alta temperatura è quella di utilizzare un circuito frigorifero a doppio stadio in serie, dove il condensatore del primo ciclo corrisponde all'evaporatore del secondo. Il primo ciclo termodinamico innalza la temperatura ad un livello intermedio stadio e il secondo porta la temperatura fino a 80°C. In genere si utilizzano due gas differenti che permettono di raggiungere pressioni e temperature non ottenibili da un solo ciclo, consentendo ai due refrigeranti di lavorare in condizioni in cui danno il massimo rendimento.

Questa tipologia di macchine ad alta temperatura è particolarmente indicata per la sostituzione del generatore di calore tradizionale in vecchi edifici o comunque in impianti progettati in partenza con sistemi di distribuzione del calore tradizionali, come ad esempio i radiatori.

In tempi recenti è emerso come l'applicazione di cicli equipaggiati con eiettori

appaia una scelta promettente, stante l'elevata affidabilità e i bassi costi. L'eiettore è un componente statico di piccole dimensioni utilizzato per incrementare l'efficienza delle pompe di calore o per lavorare ad alta temperatura e sfrutta l'effetto Venturi prodotto da un ugello convergente-divergente per incrementare la pressione del fluido di lavoro.

In sintesi, il fluido primario, detto anche "fluido motore", ad elevata pressione percorre l'ugello accelerando e allo stesso tempo espandendosi fino a condizioni soniche o supersoniche. Il fluido primario fuoriesce nella camera di miscelamento con onde d'urto e in questa zona si origina una depressione che richiama il fluido secondario, detto anche "fluido condotto", dalla camera di aspirazione. I due fluidi entrano in contatto nella camera di miscelamento e, infine, il fluido miscelato ad alta velocità entra nel diffusore che converte l'energia cinetica in pressione. Con il movimento di uno spinotto si regolano la velocità e la pressione del fluido miscelato. (FIG 2)



Il risultato compressivo prodotto da un eiettore è l'incremento della pressione del "fluido condotto", quindi, pur essendo un componente statico, lavora come un compressore con il vantaggio di non richiedere un input energetico. Si stima che l'uso di questa tecnologia con l'impiego di propano come fluido di lavoro possa incrementare il COP delle PdC fino al 15 ÷ 20%. A parità di COP le PdC ad eiettore possono raggiungere temperature utili di condensazione più alte, risultando in definitiva adatte ad essere impiegate nella fornitura di calore ad alta temperatura per il confort negli edifici.

Le pompe di calore nel settore industriale

Le pompe di calore sono una tecnologia consolidata del settore civile e nel terziario, ma ancora poco utilizzate nel settore industriale, soprattutto perché, fino a pochi anni fa, la tecnologia non permetteva di lavorare con rendimenti molto interessanti quando la differenza tra la fonte termica a bassa temperatura e la temperatura richiesta di utilizzo era troppo alta.

La recente evoluzione tecnologica ha in parte risolto questo problema e l'industria del settore è riuscita a mettere a punto apparecchiature in grado di fornire acqua calda anche a una temperatura di 80–90 °C, senza un'eccessiva penalizzazione delle prestazioni energetiche della macchina. Questa innovazione apre uno scenario di sviluppo completamente nuovo e inesplorato nel settore industriale, dove grandi portate di acqua a temperature di 25–35 °C, residuali dei processi di raffreddamento, spesso devono essere necessariamente smaltiti in torri evaporative in quanto caratterizzati da un livello entalpico troppo basso



per qualunque tipo di recupero diretto. Questo contesto rappresenta una nicchia ideale per le pompe di calore, qualora il processo produttivo abbia la necessità di acqua calda a temperatura compresa tra i 60 e gli 80 °C in genere riscaldata con caldaie dedicate o spillamenti di vapore dalle linee dell'impianto. Infatti, le pompe di calore potendo attingere a una fonte termica a temperatura relativamente alta, riescono a massimizzare il rendimento lavorando con COP molto interessanti, difficili da raggiungere nei tradizionali contesti del civile e del terziario.

L'ostacolo principale alla realizzazione di questi interventi rimane da un lato l'alto costo della tecnologia, e dall'altro la complessità di installazione e interazione con il processo produttivo che risulta tutt'altro che banale.

È tuttavia indubbio che questo nuovo filone di interventi di risparmio energetico, se applicato e replicato nei contesti industriali, rappresenterebbe una risorsa molto interessante per gli obiettivi di decarbonizzazione del nostro Paese.

Evoluzione del mercato delle pompe di calore

..... Antonio Galante, Consigliere elettivo di Assoclimate

Gli ultimi anni sono stati testimoni dell'inizio di un cambiamento epocale sull'utilizzo delle pompe di calore elettriche come mezzo di riscaldamento primario. Nel 2011 le pompe di calore aria/acqua vendute furono 9.100, nel 2021 82.700 con una crescita annua composta del 24,6%.

Analizzando nel dettaglio, il volume di quelle split, cioè composte da un modulo esterno e uno interno, è stato di 43.000, di cui 26.000 con modulo per la produzione di acqua calda sanitaria integrato, e quelle monoblocco 39.700. Le crescite in percentuale sono superiori al 100% sia rispetto al 2020 che rispetto al 2019, ultimo anno pre-pandemia.

Per la categoria pompe di calore aria/acqua ad alta temperatura la crescita 2020-21 è stata superiore al 200%.

Numerosi fattori hanno contribuito e tuttora contribuiscono a sostenere l'ottimo andamento di questo settore. Possiamo individuare tre categorie principali: tecnologia, cambiamenti legislativi e, infine, conoscenza e consapevolezza da parte dell'utente finale.

Tecnologia

Grazie all'utilizzo e allo sviluppo della tecnologia inverter le pompe di calore sono

sempre più efficienti; oggi è normale per un sistema di questo tipo avere un'efficienza in riscaldamento superiore a 4, ciò vuol dire che per ogni chilowattora elettrico consumato il sistema ne eroga quattro in ambiente. Non solo, la capacità di funzionare e di mantenere elevati livelli di efficienza anche alle basse temperature ne hanno permesso l'utilizzo per tutta la stagione invernale anche in zone particolarmente fredde.

Cambiamenti legislativi

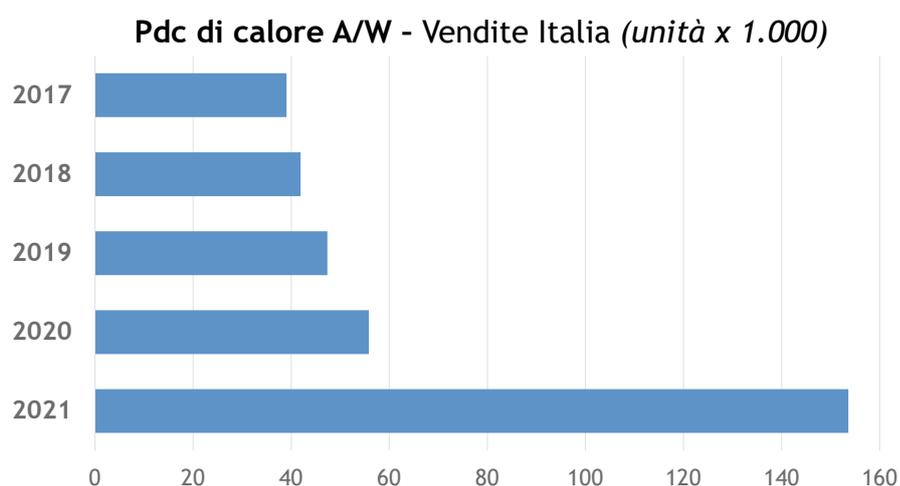
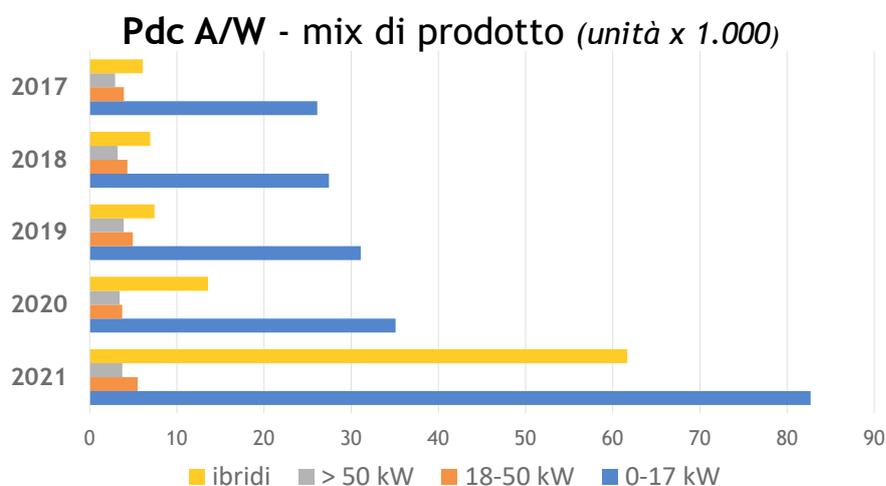
Qualche anno fa il Governo ha iniziato il processo di rendere costante il costo del chilowatt elettrico e non più progressivo e in aumento con i consumi; inoltre sono stati progressivamente introdotti incentivi fiscali quali Ecobonus, SuperEcobonus e Conto Termico per stimolare gli utenti a passare a sistemi di riscaldamento più efficienti per gli edifici esistenti. Per quanto riguarda gli edifici di nuova costruzione, il raggiungimento di elevati classi di efficienza energetica, cui oggi ogni possibile acquirente guarda con sempre più interesse, è grandemente facilitato se il sistema di riscaldamento è costituito da una pompa di calore.

Consapevolezza da parte dell'utente finale
Gli utenti finali stanno prendendo sempre più consapevolezza che la pompa di calore è un valido sistema per poter riscaldare le pro-

prie abitazioni in maniera ottimale, con costi di esercizio limitati e con una tecnologia che utilizza energia rinnovabile e sempre più rispettosa dell'ambiente.

Inoltre, le pompe di calore ad alta temperatura, ciò quelle che producono acqua ad almeno 60°C, sono in grado di produrre più facilmente l'acqua calda sanitaria perché, pur utilizzando l'acqua sanitaria ad un massimo di 38°C, avere una sorgente a una temperatura così alta permette di ridurre il tempo necessario a riscaldare l'acqua dopo, per esempio, una o due docce o ridurre il tempo necessario per eseguire il ciclo antilegionella.

Le previsioni di evoluzione del mercato di questa tipologia di prodotti sono promettenti sia in Europa che in Italia. Due sono i fattori che possono significativamente contribuire ad una crescita sostenuta. Il primo è la spinta ad utilizzare energie rinnovabili, che per quanto detto prima, per le pompe di calore sono già i 3/4 dell'energia erogata e che potrebbe ulteriormente aumentare utilizzando energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili quali eolico o fotovoltaico. Il secondo, grazie all'utilizzo di energia rinnovabile prodotta in modo distribuito sul territorio nazionale ed europeo, è la possibilità di diminuire significativamente la dipendenza energetica da paesi extra unione europea e ridurre non solo l'utilizzo di combustibili fossili ma anche i rischi geopolitici.



La prospettiva è che le pompe di calore aria/acqua elettriche e, in particolare, quelle ad alta temperatura contribuiscano sempre di più ad una transizione energetica rispettosa dell'ambiente, utile al nostro paese sia economicamente che politicamente anche alla luce degli ultimi accadimenti di cui la guerra in Ucraina ne è un triste esempio.

Pompe di calore ad alta temperatura: tecnologia e casi di applicazione

..... Mariano Covolo, Capo Gruppo italiano Liquid Package Chillers and Heat Pumps di Assoclimate

La pompa di calore è la macchina che trasferisce energia termica da una sorgente fredda (aria ambiente, acqua, terreno) ad una sorgente calda mediante apporto di energia tipicamente elettrica (figura 1).

A che temperature funzionano le pompe di calore e quali sono le applicazioni che risultano vantaggiose per le pompe di calore ad alta temperatura?

Dal punto di vista termodinamico, le pompe di calore possono funzionare a qualunque temperatura mentre la tecnologia è in continua evoluzione per ricercare materiali e soluzioni adeguate.

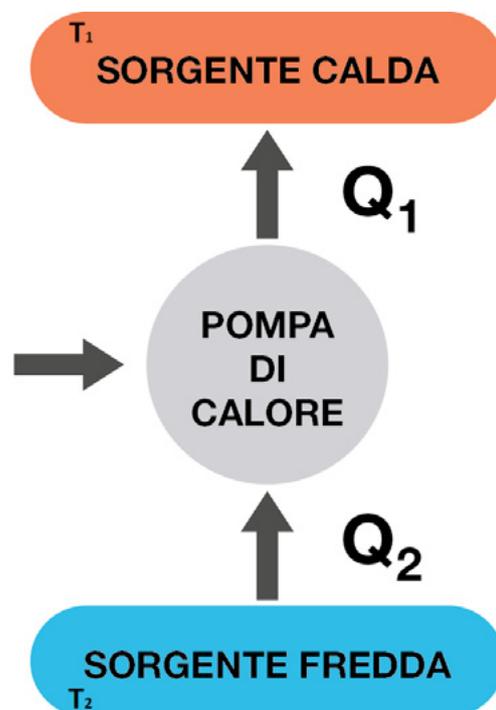


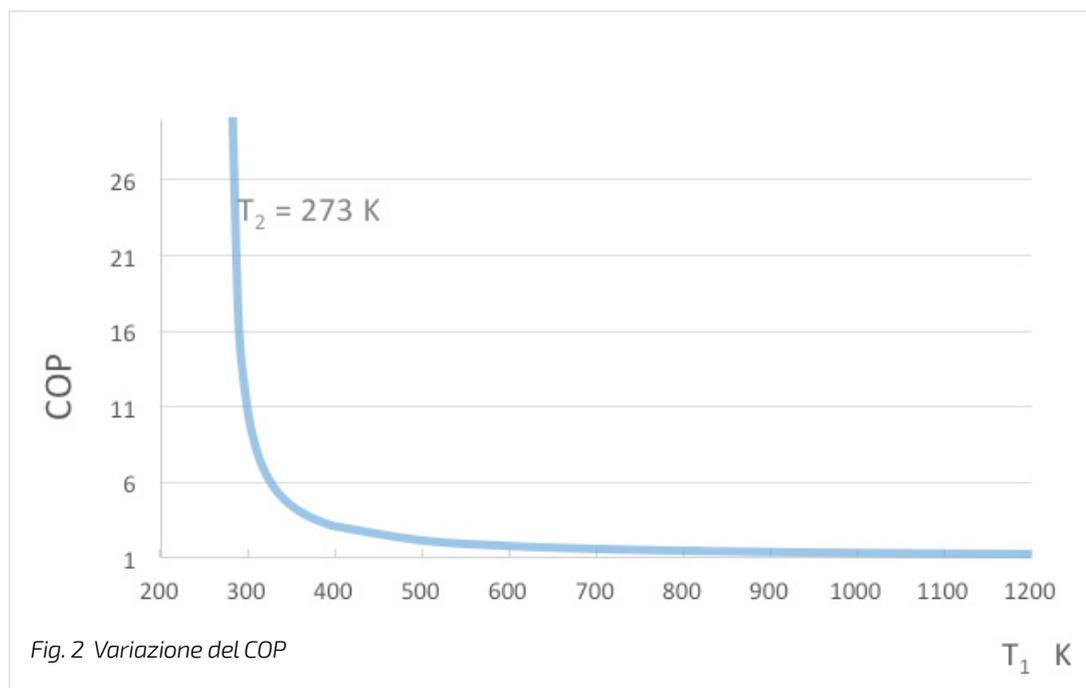
Fig. 1 Funzionamento pompa di calore

La pompa di calore è caratterizzata dal COP (Coefficient Of Performance), ossia il rapporto tra l'energia termica ottenuta e l'energia elettrica spesa, esso degrada velocemente all'aumentare della temperatura della sorgente calda.

Esprimendo le temperature in gradi Kelvin, in assenza di dispersioni termiche ed attriti, vale la formula:

$$\text{COP} = T_1 / (T_1 - T_2)$$

Il grafico di figura 2, relativo ad una sorgente fredda che si trova alla temperatura $T_2 = 273\text{K}$ (0°C), evidenzia che quando la temperatura della sorgente calda T_1 è vicina alla temperatura della sorgente fredda, il COP assume valori elevati, cioè ottime prestazioni, mentre quando la temperatura della sorgente calda si allontana da quella della sorgente fredda il COP tende al valore unitario.



La maggior parte delle pompe di calore è attualmente dedicata al riscaldamento degli ambienti perché la temperatura T_1 richiesta dai terminali di distribuzione del calore è ragionevolmente vicina alla temperatura T_2 della sorgente fredda; in queste condizioni il sistema di riscaldamento è estremamente efficiente.

Nella vita reale, per via delle dispersioni termiche e degli attriti, si ottengono dei COP più piccoli di quelli mostrati dal grafico, tuttavia il COP continua a mostrare andamento simile in funzione delle temperature.

Esempio di un caso pratico

Il caso riportato in tabella 1 è relativo alla pompa di calore utilizzata per riscaldare un appartamento che richiede 15.000 kWh termici/anno. Le temperature sono espresse in °C e sono diversificate in funzione del tipo di terminale utilizzato.

Tabella 1

Tipo terminale	Temperatura T1	COP *	Energia elettrica	Energia primaria necessaria per produrre energia elettrica
Pavimento	35°C	5	3.000 kWh	6.300kWh
Ventilconvettore	45°C	4	3.750 kWh	7.875kWh
Termosifone	65°C	3	5.000kWh	10.500kWh

*Valori medi ricavati da: <https://www.eurovent-certification.com/>

Tabella 1 - Pompa di calore utilizzata per riscaldare un appartamento

L'esempio ci aiuta a comprendere che:

- la pompa di calore esprime la sua massima efficienza quando è abbinata a terminali a bassa temperatura;
- la pompa di calore rimane vantaggiosa anche con terminali a più elevata temperatura quali i termosifoni;
- avendo a disposizione combustibili fossili o anche sintetici, meglio trasformarli in energia elettrica che alimenta una pompa di calore piuttosto che bruciarli direttamente.

Questo stesso esempio potrebbe indurci anche a pensare che al di sopra dei 65°C la pompa di calore termina di essere vantaggiosa. Ci sono però altri fattori che meritano di essere considerati:

a) La sorgente fredda potrebbe trovarsi ad una temperatura più elevata dell'ambiente/acqua/terreno.

Il caso di acque termali disponibili a temperature nell'intorno dei 20°C ne è un esempio; tuttavia ci sono molte altre sorgenti costantemente disponibili a questi livelli di temperature, pensiamo alle acque reflue di un grattacielo, all'aria calda espulsa dagli edifici o da processi produttivi.

Con queste sorgenti fredde disponibili a temperature che non le rendono direttamente utilizzabili è possibile alimentare pompe di calore che si mantengono molto performanti anche quando trasferiscono il calore al di sopra dei 65°C.

b) Uso combinato di energia termica e frigorifera

Questo è il caso più favorevole per la pompa di calore. In questo caso il coefficiente di prestazione TER (Total Energy Ratio) è definito come rapporto tra l'energia totale ottenuta (termica + frigorifera) e l'energia elettrica spesa, è intrinsecamente molto elevato, quasi doppio del COP definito in precedenza, e si degrada meno velocemente all'aumentare della temperatura della sorgente calda. Anche in questo caso è possibile traslare verso l'alto il campo di funzionamento ottimale della pompa di calore.

Nel solo ambito del comfort, basta pensare all'impianto termico di un albergo che in estate deve fornire acqua refrigerata per il condizionamento dell'aria ed acqua calda per le docce e la cucina.

Altro esempio, diverso dal comfort, è il processo di concentrazione sottovuoto del succo d'uva: serve acqua calda per far evaporare il succo e contemporaneamente acqua fredda per far condensare il vapore d'acqua.

c) Fattore di conversione energia elettrica in energia primaria

Nell'esempio pratico del riscaldamento di un appartamento è stato considerato un Fattore di conversione di energia elettrica in energia primaria pari a 2,1. Senza entrare nel merito di questo fattore, in questa sede ci limitiamo ad osservare che con la sua progressiva riduzione, lo stesso appartamento verrà riscaldato con minori quantità di energia primaria.

In altri termini, fermo restando che la pompa di calore esprime la sua massima efficienza con i terminali a bassa temperatura, potrà vantaggiosamente produrre calore anche a temperature sempre più elevate mano a mano che il Fattore di conversione energia elettrica in energia primaria si riduce.

Per tutte le applicazioni che si prestano all'utilizzo efficiente della pompa di calore ad alta temperatura si va a selezionare la macchina idonea che sarà appositamente progettata per ospitare compressori per elevati rapporti di compressione e fluidi refrigeranti caratterizzati da temperatura critica superiore alla temperatura T2. Pur con queste peculiarità, le macchine risultano esteticamente simili a quelle ampiamente utilizzate nelle applicazioni per il comfort.

Tipologie di pompe di calore ad alta temperatura

Vorremmo concludere mostrando qualche modello e con un impianto funzionante. Tra le pompe di calore che producono acqua calda ad 80°C, in figura 3 si riporta l'esempio di macchina con compressori scroll e scambiatori di calore a piastre saldobrasate con potenza fino a 300 kW.



Fig. 3 Macchina con compressori scroll e scambiatori di calore a piastre saldobrasate

Per potenze superiori sono più diffuse macchine con compressori vite e scambiatori a fascio tubiero (figura 4), esse producono acqua a temperatura di 80°C ed oltre con potenze fino a 2.000 kW.

Per potenze maggiori si dispongono più macchine in parallelo.



Fig. 4 Macchina con compressori vite e scambiatori a fascio tubiero

Esempio di impianto con pompa di calore che raffredda un data center, recupera e trasferisce calore ad alta temperatura

Fortum District Heating Kirkkonummi (Finlandia), società di energia finlandese, utilizza il calore di scarto di un data center per il proprio district heating. Il data center in questione attualmente genera tra 10.000 a 15.000 megawattora di calore di scarto ogni anno per fornire riscaldamento a tutte le case delle regioni di Espoo, Kirkkonummi e Kauniainen ad emissioni zero, entro il 2030 al più tardi. L'utilizzo del calore di scarto di un data center è un esempio virtuoso di teleriscaldamento a basse emissioni di carbonio. Inoltre, come già dimostrato in numerosi progetti di successo, le pompe di calore sono una soluzione efficace ed economicamente vantaggiosa in un impianto di teleriscaldamento.



Le pompe di calore ad alta temperatura per l'uscita dalle caldaie fossili

..... Fabio Roggiolani, Presidente GIGA

In Europa sono oltre 2,5 milioni gli impianti termici alimentati da pompe di calore in case con il pavimento radiante, unica tecnica di diffusione del calore (insieme ai ventilconvettori) a supportare macchine di produzione del calore che non sono mai riuscite a superare i 55° C al massimo e in più in casi molto rari.

Un impianto a radiatori ha bisogno di picchi di calore anche di 90°C e per questo la diffusione nel nostro Paese delle pompe di calore è stata minima, inoltre, dopo un primo piccolo boom i raffazzonati proponenti di un trend di moda le hanno installate dove non avrebbero mai funzionato seminando scontenti e contenziosi oltreché disagi.

Eppure, l'Italia è il territorio perfetto in tutte le sue variazioni climatiche per l'utilizzo di pompe di calore sia con scambio geotermico sia con scambio ad aria (con rendimenti molto più bassi), perché la pompa di calore è l'unico strumento flessibile che produca durante l'anno sia

caldo che freddo, come il nostro clima che da temperato ormai sta deviando nelle direzioni di inverni freddi anche se meno freddi ma con estati calde e sempre più calde.

La pompa di calore deve scambiare sempre con aria, con acqua o con il suolo. Lo scambio ad aria funziona sicuramente solo nelle zone più calde del Paese ma non da affidabilità in aree più fredde.

Lo scambio geotermico a bassa entalpia è la soluzione che garantisce stabilità e durata nonché elevatissima efficienza energetica alle pompe di calore. Le sonde di geoscambio richiedono spazio, ovvero 8 metri di distanza l'una dall'altra, più facile se c'è acqua il ciclo aperto con pozzo di presa e di resa ma sempre un certo spazio è necessario. Nei centri delle città quindi la partita parrebbe persa in partenza ma non è così, oggi infatti possiamo far scambiare le pompe di calore con una rete a bassa temperatura o anche fredda create ad hoc, i cosiddetti teleriscaldamenti freddi.

Addirittura, in certe condizioni si possono utilizzare anche direttamente le reti idriche innestando dei loop di scambio dato che non viene in alcun modo lesa il chimismo dell'acqua potabile.

La prospettiva di integrare in una comunità energetica rinnovabile anche reti di teleriscaldamento freddo è la strada per la penetrazione di massa delle pompe di calore che adesso con l'alta temperatura possono in tutto e per tutto sostituire con efficienza moltiplicata per 5 le caldaie fossili. Una applicazione di scambio con la rete idrica è realizzata a Torino nella sede della Smat rete idrica torinese .

I condomini ormai realizzati con pompe di calore ad alta temperatura ormai non si contano più sono centinaia di ogni dimensione dalla villetta singola a più di cento appartamenti e con una media di classi energetiche superate superiore a 4.

Un po' di storia

Ricerche approfondite sulla pompa di calore ad alta temperatura furono portate avanti del gruppo di ricerca dell'Università di Trieste che prendendo parte ad un progetto di ricerca europeo - circa dieci anni fa - contribuì alla svolta tecnologica sotto

la direzione dell'ing. Gianfranco Pellegrini.

Lo sviluppo avviene anche superando le questioni ambientali dei gas climalteranti inseriti dentro le altre pompe di calore tradizionali che ne hanno portato al blocco, ad esempio, nel Regno Unito e al rallentamento anche negli altri Paesi.

Il fluido basso bollente, quindi, non ha più elementi climalteranti, è molto stabile ed efficiente per cui le performance minime portano una pompa di calore ad alta temperatura con scambio ad aria ad un rendimento energetico (COP) di 2,5 rispetto allo 0,8 per unità di energia del gas/gpl/gasolio/legna e di un rendimento di 5 a fronte di impianto con scambio geotermico e a 6 con scambio idrotermico.

Se in Italia tutte le caldaie a fossili fossero trasformate in pompe di calore ad alta temperatura ridurremmo del 40% il fabbisogno attuale di metano, ovvero eguagliaremo l'intera fornitura proveniente dalla Russia.

Il nemico dietro la porta, ovvero il burocrate, ha colpito duro in questi anni ma negli scorsi mesi il lavoro delle nostre associazioni e di Ecofuturo ha prodotto significative semplificazioni.

In una serie di iniziative avviate durante l'edizione 2022 di Ecofuturo e nella fiera in realtà virtuale EXCO VR (a cui si accede scaricando la app gratuita Ecofuturo da ios e android), sono accessibili sia le imprese che le tecnologie che i seminari in cui presentiamo la svolta dei teleriscaldamenti freddi, sempre per le pompe di calore, la riconversione in tiepidi dei costosissimi in termini manutentivi teleriscaldamenti tradizionali, lo scambio in loop con la rete idrica e altre soluzioni per poter rendere possibile la penetrazione in ogni contesto sia urbano che storico, nonché periferico, delle pompe di calore ad alta temperatura.

La svolta nella svolta: le comunità energetiche rinnovabili

Con la possibilità di farsi in proprio l'energia rinnovabile anche oltre il proprio domicilio e la propria azienda e grazie anche al premio previsto per ogni kW autoconsumato dai componenti della Comunità, si crea la condizione più conveniente per elettrificare l'energia per riscaldamento con le pompe di calore ad alta temperatura, creando un grande effetto moltiplicatore del risparmio atteso con le comunità energetiche stesse.

Più si consuma elettrico e più si hanno incentivi. Se si investe nella comunità si risparmia anche se si aderisce come semplice consumer.

La pompa di calore ha in sé una efficienza energetica molto superiore al riscaldamento con le caldaie, di conseguenza verrà consumata meno energia e a prezzo decisamente più basso con l'autoconsumo dentro la comunità. Inoltre, le reti di teleriscaldamento tiepido o freddo possono ripagarsi grazie ai certificati bianchi ed ecco che il cerchio si chiude in maniera vantaggiosa per tutti e si apre una prospettiva di cambiamento radicale.

Osservazioni conclusive

Oggi occorre mettere la parola fine alla installazione di caldaie in edifici di nuova costruzione. Germania e Olanda hanno messo il limite nel 2036 e crediamo che sia ragionevole. L'Europa per ora ha scritto 2039 ma come per la Cina che ha interesse nazionale ad accelerare verso le auto elettriche per il loro settore industriale evoluto nei motori

elettrici, noi da Paese in cui la Geotermia e le sue applicazioni sono nate, oggi abbiamo un vantaggio competitivo (che ci auguriamo non si perda per voler vendere ancora dei ferrivecchi come le caldaie a combustione che anche se controllate ormai sono fuori tempo e fuori dai range ecologici).

Occorre escludere le caldaie dagli incentivi ecologici super o normali lasciando solo quelli agli elettrodomestici se sono a condensazione, il settore italiano dei produttori di pompe di calore è maturo e capace di aumentare la produzione senza remore così come sta riconvertendosi alle sonde e alla bassa entalpia il mondo dei pozzi idrici e come pure sta facendo anche quello delle trivellazioni fossili in direzione della geotermia profonda.

Mancano tecnici installatori e termotecnici che siano preparati e convinti della nuova direzione da intraprendere e su questo il ruolo della FIRE è basilare. Ogni tentennamento in nome della protezione di interessi residuali è un danno portato all'ecologia, agli interessi del paese ed in ultima analisi agli interessi degli operatori stessi.

Il disastro climatico prima e la crisi Ucraina dopo stanno rendendo chiaro che una casa e una azienda che voglia garantirsi un futuro stabile e sicuro nonché ragionevolmente e stabilmente ecologico ed economico non può non puntare alla messa in soffitta dei pentoloni chiamati caldaie e a quasi due secoli dalla morte di Carnot celebrarne la vittoria sulla caldaia.

L'applicazione delle pompe di calore nel settore industriale

..... Dolf van Hattem, Energy expert di Studio Caramelli

Oggi le tecnologie disponibili per la produzione di energia rinnovabile su scala industriale, forniscono principalmente energia elettrica, pertanto molti processi termici nell'industria devono inevitabilmente essere convertiti per essere poi alimentati con energia elettrica.

La pompa di calore è lo strumento più efficiente per convertire energia elettrica in energia termica. Infatti, mediamente ci si può aspettare che per ogni kWh di energia elettrica usato, una pompa di calore restituisca da 3 a 4 kWh di energia termica. In altre parole, una pompa di calore è di circa 3 -4 volte più efficiente di un generatore di calore elettrico ad effetto Joule. Di conseguenza, esiste un forte interesse per impiegare queste macchine per la sostituzione delle caldaie a metano che oggi alimentano tanti processi industriali termici.

Nel tempo sono stati sviluppati, ed applicati con successo, tanti tipi diversi di pompe di calore [1]. Oggi, la tecnica più diffusa è quello che impiega un circuito chiuso per il refrigerante ed usa la compressione meccanica del vapore. Questo articolo si limita a questa tecnologia.

Refrigeranti

L'impiego nel settore industriale fu frenata per tanto tempo a causa della difficoltà a produrre energia termica con temperature al di sopra delle 90°C.

Ultimamente ci sono stati sviluppi importanti nella ricerca di refrigeranti nuovi che hanno delle caratteristiche termodinamiche che permettono di raggiungere delle temperature più elevate e che siano accettabili dal punto di vista ambientale (vedi la Tabella 1 qui sotto).

Tabella 1 – Esempi di refrigeranti e loro impatto ambientale.

* Global Warming Potential (foreseeable legal limit 100 – 150);

** Ozon layer Depletion Potential

Company	Product	Trade name	GWP	ODP	Safety Class	Price €/kg
Honeywell https://www.honeywell-refrigerants.com/europe/	R1233zd(E)	Solstice®zd	1	0.00034	A1	15 - 20
	R1234yf	Solstice®yf	4	0	A2L	45 - 50
	R1234ze	Solstice®ze	7	0	A2L	10 - 15
Chemours www.chemours.com	R1336mzz(Z)	Opteon™MZ	2	0	A1	25
	R1234yf ³	Opteon™YF	9	0	A2L	15 - 20
	R1336mzz€	Opteon™ME	1	0	A1	25
Arkema https://www.arkema.com/en/products	R1233zd(E)	Forane HTS 1233zd	4.5	0.00024	A1	15 - 20
AGC https://www.agc-chemicals.com	R1224yd(Z)	AMOLEA®1224yd	<1	0.00012	A1	20 - 25
3M https://www.3mdeutschland.de	LG6 or CF6	3M™Novac™649	1	0	n.a.	45 - 50

Source: AIT, 2020

Il campo di funzionamento per alcuni di questi refrigeranti è riportato nella Figura 1, da cui si evince che la temperature sino al 165 °C sono oggi raggiungibili con questi refrigeranti.

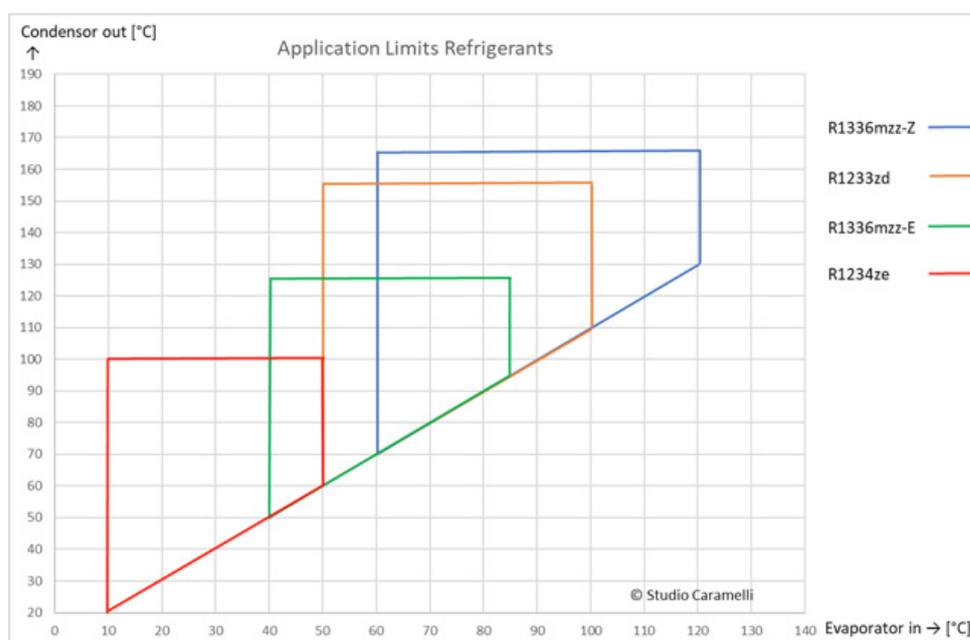


Figura 1 – Campo di funzionamento di alcuni refrigeranti impiegati per scopi industriali.

Prove of concept

Grazie a questi nuovi refrigeranti il limite della temperature raggiungibili con delle pompe di calore si è alzato molto, come dimostrano i valori riportati nella Tabella 2. Oggi è possibile produrre vapore sino a circa 6 bar, direttamente con una pompa di calore.

Tabella 2 — Prestazioni misurate di una pompa di calore ad alte temperature in un impianto per l'essiccazione di mattoni [2].

Tevap,in	Tcond,out	COP
°C	°C	
88,3	120,9	4,6
88,4	140,9	3,7
88,4	150,9	3,2
88,6	160,7	2,7

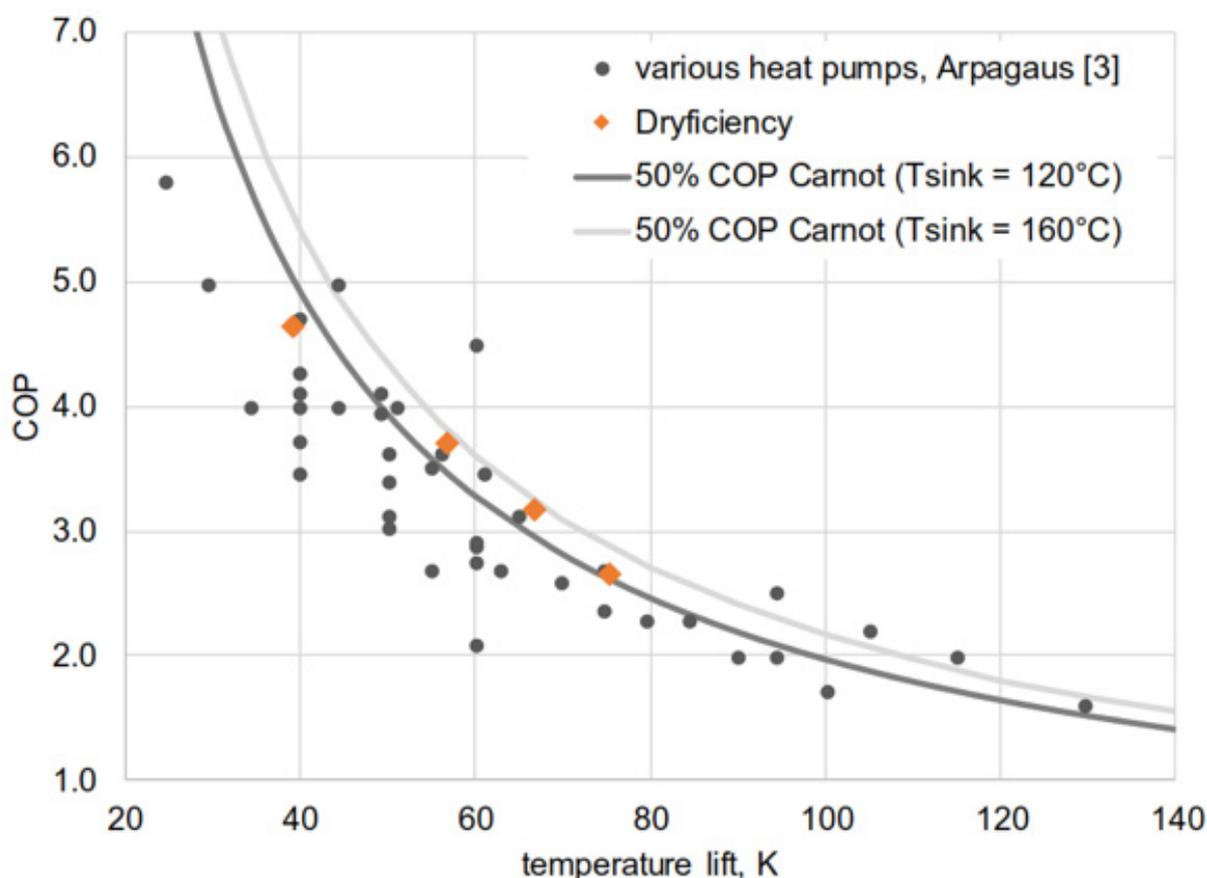


Figura 2 — Confronto del COP della pompa di calore del progetto EU DryFiciency e con altre pompe di calore industriali [1]

I dati riportati nella Tabella 2 e nella Figura 2 dimostrano la fattibilità di generare energia termica a temperature sino a 160 °C. Questi dati confermano che è possibile ottenere

dei valori per il COP interessanti anche a delle temperature elevate a condizione di limitare la differenza di temperatura fra il flusso all'entrata dell'evaporatore e il flusso all'uscita del condensatore. Infatti, il funzionamento di una pompa di calore che opera a delle temperature elevate, è molto simile a una macchina che funziona al di sotto del 50 °C. Il COP dipende fortemente dall'incremento della temperatura e la resa termica varia in modo significativo sia con la temperatura dell'evaporatore sia con la differenza di temperatura fra l'evaporatore ed il condensatore. Perciò, a questo riguardo, una pompa di calore si distingue in modo fondamentale da un impianto termico tradizionale a carburante fossile. Un generatore di calore tradizionale può essere impiegato con un buon rendimento in un ampio intervallo di temperature mentre le prestazioni di una pompa di calore dipendono in modo determinante dalla temperatura alla quale il calore deve essere erogato e dalla temperatura alla quale il calore di scarto è disponibile per l'evaporatore.

È importante tenere presente che le pompe di calore possono funzionare in parallelo o in serie senza particolari problemi (sono possibili sistemi a due o più stadi). In questo modo si possono progettare delle soluzioni idonee per tantissimi processi termici industriali, anche con delle macchine prodotte in serie. Questa caratteristica e la possibilità di regolare il numero di giri del compressore in modo continuo con degli inverter, rendono il controllo della resa termica molto flessibile ed affidabile.

Applicazioni:

Alcune applicazioni promettenti sono:

La produzione di vapore

Le pompe di calore ad alte temperature, essendo in grado di raggiungere delle temperature ben al di sopra delle 100°C, è possibile produrre vapore con il calore reso disponibile dal condensatore. Anzi, il vapore può essere generato direttamente nel condensatore, eliminando in questo modo la necessità di un fluido termovettore fra il generatore di calore ed il generatore di vapore. Tutto ciò consente la produzione di vapore pulito e "carbon free" in un modo molto più efficiente di quanto possano fare i generatori di vapore ad effetto Joule.

Pompe di calore e teleriscaldamento

La proposta del 14/07/2021 della Commissione Europea per la nuova direttiva sull'efficienza energetica (rif. COM (2021) 558 final), stabilisce all'articolo 24 che dal 1° gennaio 2050 tutti i sistemi di teleriscaldamento nuovi e quelli esistenti che erogano più di 5 MW di energia totale, devono usare "esclusivamente energia rinnovabile e calore di scarto, con una quota di energia rinnovabile pari almeno al 60 %". Le pompe di calore ad alte temperature possono essere un valido aiuto per po-

ter rispettare questa importante sfida. Sia il recupero di calore di scarto (e.g. da impianti di condizionamento o processi industriali), sia la produzione di energia termica rinnovabile (e.g. solare termico o geotermia a basse temperature) possono trarre vantaggi energetici ed economici importanti dall'uso di queste pompe di calore. In particolare, per delle reti di teleriscaldamento con una temperatura di mandato elevata, per esempio intorno ai 120°C.

La combinazione pompa di calore/cogeneratore

I cogeneratori con motori a combustione interna (ICE) hanno come inconveniente che circa la metà dell'energia termica prodotta ha una temperatura al di sotto del 100 °C. Questa caratteristica rende l'impiego di queste macchine meno interessanti per aziende che hanno bisogno di energia termica esclusivamente oltre il 100°C. Inoltre, frequentemente la produzione di energia elettrica è superiore ai bisogni dello stabilimento stesso e, perciò, una parte significativa di questa energia viene immessa nella rete, con una remunerazione piuttosto bassa. La pompa di calore ad alte temperature può mitigare entrambi i problemi. Perché può trasformare il calore con temperature al di sotto dei 100°C in vapore sino a 6 bar usando l'eventuale eccesso dell'energia elettrica prodotta dal cogeneratore.

Processi di essiccazione

Fra il 12 ed il 25 % del consumo finale di energia nell'industria è impiegata per processi di essiccazione o de-idratazione. Circa l'85 % di questa energia finisce

come energia di scarto e l'80 % è potenzialmente recuperabile.

In particolare, una pompa di calore permette il recupero di una buona parte del calore dell'evaporazione che rappresenta un consumo di energia termica molto importante. In più si può recuperare anche una parte dell'acqua contenuta nelle fumi all'uscita dell'essiccatore.

Valutazione della convenienza

Per valutare i potenziali vantaggi economici ed ambientali dell'impiego di una pompa di calore in un determinato impianto industriale, si deve tener conto della dipendenza delle sue prestazioni termiche dalle temperature di funzionamento, come già accennato sopra.

Perciò, l'integrazione di una pompa di calore in un sistema termico industriale necessita l'analisi approfondita e l'ottimizzazione, caso per caso, dell'insieme "pompa di calore + sistema termico". Solo in questo modo si può essere fiduciosi di ottenere il miglior risultato. Nel caso di sistemi termici complessi è necessario procedere con un'Analisi Pinch per capire in qual punto si deve inserire la pompa di calore affinché il risparmio energetico/economico sia massimo.

L'investimento

Il fatto che la resa termica di una pompa di calore dipenda in modo significativo dalla temperatura dell'evaporatore e dalla differenza di temperatura fra l'evaporatore ed il condensatore, comporta che le spese specifiche d'investimen-

to (€/kWt) cambiano a secondo del sistema in cui la pompa viene inserita. Anche le spese di funzionamento variano da progetto a progetto, data la dipendenza del COP dalle temperature in gioco.

Oggi, la maggior parte delle pompe di calore istallate per scopi industriali con temperature oltre i 100 °C, sono "custom made" e perciò i costi sono molto variegati. Per modelli prodotti in serie i costi, compresa l'istallazione della pompa stessa, vanno da circa 350 €/kWt a 500 €/kWt a seconda delle condizioni di funzionamento. Le spese annuali di manutenzione, per i modelli standard, possono essere stimate intorno al 2,5 % dell'investimento. Questa stima include la revisione del compressore dopo circa 40.000 ore di funzionamento.

Conclusioni

L'impiego di una pompa di calore ad alte temperature in ambito industriale può portare tanti vantaggi, per esempio:

- benefici economici e quindi il minor costo d'operazione per gli impianti
- il recupero di energia termica anche in casi finora fuori portata
- Poter accedere agli incentivi (certificati bianchi)
- riduzione del consumo di energia primaria, perciò una riduzione dell'impatto ambientale
- meno dipendenza da fonti fossili
- start & stop semplice e veloce, praticamente senza perdita di efficienza
- facile operabilità: tramite un inverter si può regolare la resa termica in modo continuo fra il 30 % ed il 100 % della potenza nominale senza penalizzare il COP
- poca manutenzione
- rappresenta la strada maestra per elettrificare i processi termici
- metodo pulito e semplice per produrre vapore "senza fiamma" (white steam)
- non genera emissioni locali
- soluzione ideale per produrre calore o vapore, là dove la rete di metano non è disponibile
- può aiutare a stabilizzare la rete elettrica usando stoccaggi di energia termica idonei (sector coupling e/o peak shifting).

dolf.vanhattem@studiocaramelli.com

Per ulteriori informazioni: <https://studiocaramelli.eu/it/pompa-di-calore/>

Disclosure: l'autore è attivo per la promozione sul mercato Italiano di pompe di calore industriali ed ha perciò degli interessi economici legati alla diffusione di questa tecnologia.

[1] Kiss and Infante Ferreira: "Heat pumps in chemical process industry", 2017;

[2] Wilk, Helminger, Lauermann, Sporr, Windholz "High temperature heat pumps for drying – first results of operation in industrial environment", 13th IEA Heat Pump Conference 2020;

[3] Arpagaus C, Bless F, Uhlmann M, Schiffmann J, Bertsch S, High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials, Energy (152), p. 985 - 1010, 2018.

Ringsted DHC: il recupero di calore che dà il via a una nuova era di teleriscaldamento più ecosostenibile

..... Drew Turner, Director of Global Business Development and Market Research, Danfoss
..... Federico Corsaro, Sales Director OEM A/C & REF Danfoss Climate Solutions Italia

La Ringsted DHC, una grande società di teleriscaldamento in Danimarca, ha ridotto la sua dipendenza dai combustibili fossili del 97% dopo aver installato un innovativo sistema di recupero del calore che utilizza pompe di calore, basate sulla tecnologia di compressori oil-free, che recuperano il calore in eccesso dell'impianto che altrimenti andrebbe perso.

Si tratta di un significativo passo in avanti per i fornitori di teleriscaldamento di tutto il mondo che cercano di fornire calore più efficiente e rispettoso dell'ambiente.

Tradizionalmente le reti di teleriscaldamento sfruttano combustibili fossili per offrire agli utenti comfort domestico e acqua calda sanitaria. Tuttavia, a causa dell'aumento esponenziale dei costi dell'energia e di una legislazione sempre più stringente, l'industria del teleriscaldamento sta virando verso energie rinnovabili e tecnologie innovative quali pompe di calore elettriche e recupero di calore, per ridurre l'impatto ambientale e offrire un prezzo più accessibile ai consumatori.

La Ringsted DHC fornisce calore alla città di Ringsted attraverso una rete di teleriscaldamento di 124 km.

La principale fonte di calore proviene da una sottostazione di teleriscaldamento centralizzata. Dovendo riscaldare 7.000 abitazioni unifamiliari, il calore deve essere trasmesso in modo sicuro, senza interruzioni e al miglior prezzo per il consumatore.

Fino a due anni fa, la sottostazione utilizzava due caldaie a biomassa, un impianto di cogenerazione elettrico e termico (CHP) alimentato a gas e un accumulatore di calore. Ciò significa che il 75% del calore era generato da fonti di energia rinnovabili. Tuttavia l'obiettivo della DHC era quello di ridurre del 95% le emissioni di CO2 entro il 2020 e del 97% le emissioni di altri gas di scarico come ad esempio l'anidride solforosa.

Nonostante si trattasse di un traguardo ambizioso, la Ringsted DHC è stata in grado di raggiungere i suoi obiettivi, mantenendo bassi i prezzi del calore al consumo, attraverso un uso intelligente

delle pompe di calore ed il recupero del calore in eccesso.

Introduzione di tre nuove pompe di calore
Nel 2020, la DHC ha introdotto quattro nuove pompe di calore elettriche, tre delle quali utilizzano la tecnologia oil-free Turbocor® e un nuovo scrubber per eliminare le emissioni di SO₂.

Le nuove pompe hanno il compito di recuperare il calore in eccesso dall'infrastruttura esistente e dall'aria esterna, riutilizzandolo poi per aumentare il Coefficiente di Prestazione (COP), massimizzare la capacità termica e ridurre ulteriormente l'impatto ambientale.

La prima pompa di calore (HP1) recupera il calore dall'aria esterna riscaldando la portata di ritorno fino a 57°C. Quest'ultima viene poi miscelata con l'acqua delle caldaie a biomassa a 95°C e infine restituita alla rete di teleriscaldamento.

La Ringsted DHC si è poi resa conto che il gas di scarico della caldaia a biomassa era una fonte importante di calore sprecato, la cui temperatura di uscita di 120-140°C doveva essere raffreddata notevolmente affinché lo scrubber fosse efficace.

Così, ha introdotto uno scrubber e due pompe di calore Geoclima (HP02 e HP03) con una capacità termica totale di 1000kW, basate sulla tecnologia dei compressori oil-free Danfoss Turbocor. Infine, la DHC ha inserito un'ulteriore pompa di calore da 350 kW (HP03), anch'essa dotata di compressori oil-free, per recuperare 310 kW dalla nuova cen-

trale termica e dagli inverter a velocità variabile impiegati per le pompe di calore (HP01) e dirottarli verso la città, migliorando così ulteriormente l'efficienza dell'impianto.

Maggiore capacità termica e minore temperatura di mandata

Al fine di ottenere la massima efficienza della pompa di calore e ridurre il prezzo del riscaldamento, la Ringsted DHC deve recuperare il calore alla massima temperatura possibile.

Le pompe di calore HP02 funzionano ad un'elevata temperatura di recupero del calore (51°C > 28°C di calore in eccesso dallo scrubber della caldaia a paglia). Ne deriva una elevata capacità termica di 962kW e un COP di 7,1.

Anche la HP03, che riutilizza il calore di scarto proveniente dalla HP01, dal CHP e dalla centrale termica, funziona ad elevate temperature e, di conseguenza, ha una capacità termica di 310 kW e COP di 6,2. La temperatura di mandata finale è quindi di 58°C, che è abbastanza bassa da rendere le tre unità altamente efficienti dal punto di vista energetico.

Le pompe di calore Geoclima consentono di migliorare il COP complessivo e la capacità termica dell'impianto (rispettivamente fino al 21% e 31%). Il mantenimento di una temperatura bilanciata e l'utilizzo del raffreddamento hanno anche contribuito ad aumentare l'affidabilità dell'impianto.

Le sfide derivanti dall'installazione di pompe di calore

Per Geoclima e Unicoool, che hanno progettato e consegnato le pompe di calore per Ringsted DHC, una delle maggiori sfide è stata quella di gestire temperature estremamente variabili.

I condensatori dovevano operare a temperature comprese tra 50°C e 67°C, mentre l'evaporatore gestiva temperature da 35°C a 21°C. Geoclima doveva anche garantire il controllo della temperatura a portate variabili, che potevano passare dal 100% a pieno carico, fino al 10%.

Per qualsiasi compressore scroll, è fondamentale che il design sia ottimizzato in base alle condizioni in cui dovrà operare. Per le HP02 e HP03 della Ringsted DHC, ciò richiedeva due diversi progetti di compressori ottimizzati: una versione per applicazioni high-lift e una per medium-lift.

La versione medium-lift rappresenta la soluzione ottimale per le unità HP02, che forniscono costantemente una temperatura di mandata di 57°C. La HP03, necessaria per fornire periodicamente una temperatura dell'acqua calda di 67°C, è invece una pompa per applicazioni high-lift.

Un'altra sfida che Geoclima e Unicoool hanno dovuto affrontare è stata il dimensionamento della centrale termica in cui installare le pompe di calore. Ciò ha richiesto a Geoclima di progettare una pipeline e un layout dedicati, per consentire una facile manutenzione, un utilizzo modulare e una rapida sostituzione delle parti.

A differenza delle tecnologie tradizionali, per le quali è necessario effettuare sul posto assemblaggio e carica di refrige-

rante, le nuove pompe di calore elettriche vengono assemblate e caricate in fabbrica. Pertanto la loro installazione, messa in servizio e collaudo dura meno di una settimana.

Inoltre, la compattezza dei compressori agevola il raggiungimento degli ingombri previsti di 2.7m x 1.2m delle pompe di calore 2 e 3. La compressione centrifuga ad alta velocità variabile consente la realizzazione di pompe di calore più piccole, così come i compressori oil-free TTH e TGH hanno uno sviluppo dimensionale inferiore del 30% rispetto ad un compressore tradizionale di pari potenza. Un altro vantaggio si concretizza nella componentistica sviluppata e ottimizzata per applicazioni oil-free con refrigerante HFO1234ze ad effetto GWP ultra-basso che consente una gestione affidabile ed efficiente delle pompe di calore Geoclima.

La tecnologia oil-free dà il via ad una nuova era del teleriscaldamento

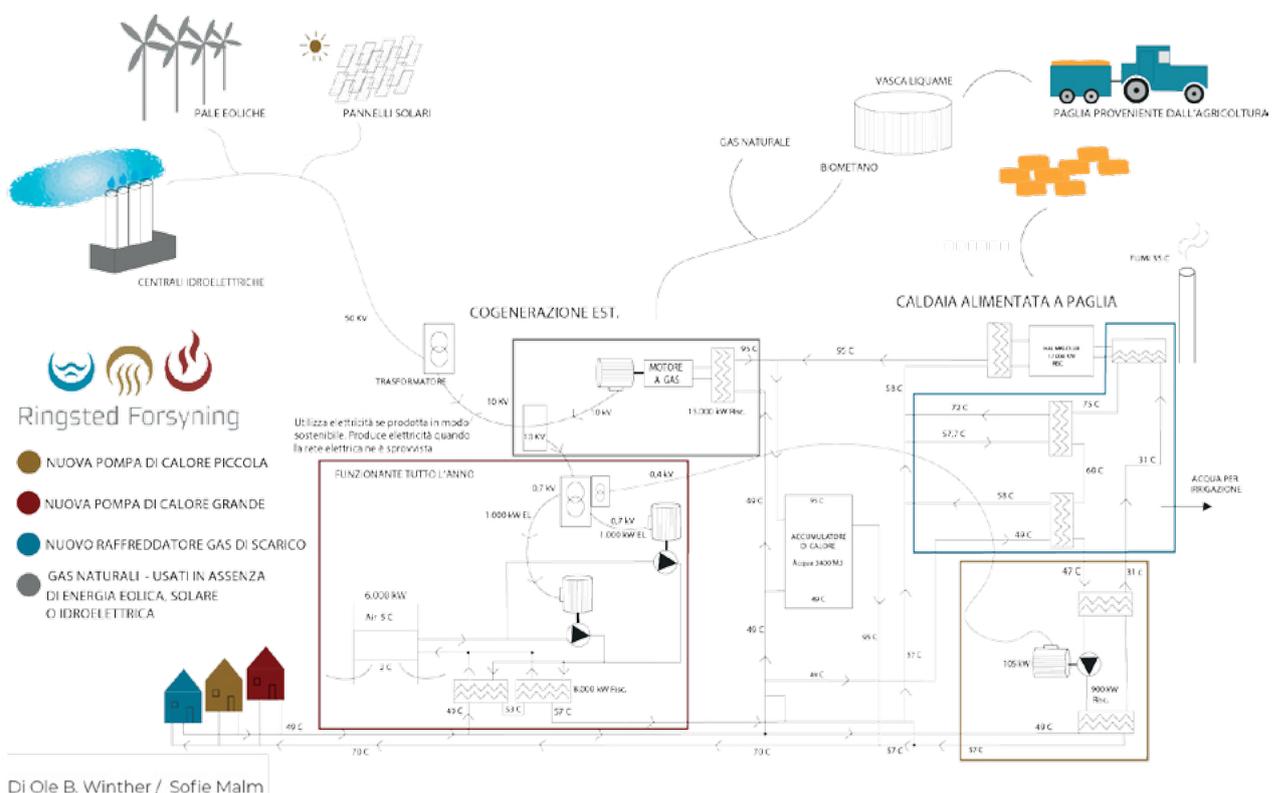
Sebbene relativamente nuova nel mercato delle pompe di calore per teleriscaldamento, la tecnologia oil-free è una scelta sempre più popolare perché offre diversi vantaggi rispetto ai compressori tradizionali:

- **Manutenzione ridotta:** la tecnologia oil-free consente la progettazione di un sistema semplificato, riducendo significativamente i tempi e i costi di manutenzione.
- **Prestazioni elevate costanti:** la compressione centrifuga a due stadi oil-free a cuscinetti magnetici e a velocità variabile garantisce un funzionamento estremamente efficiente e oil-free.

L'assenza di olio lubrificante nel processo di compressione o nel sistema di cuscinetti, impedisce la formazione di sporco e impurità all'interno degli scambiatori di calore. Inoltre, grazie al funzionamento senza contatti meccanici, si ovvia al problema del degrado e corrosione dei metalli, mantenendo l'efficienza inalterata nel tempo.

I compressori oil-free sono anche piccoli e silenziosi, il che li rende perfetti per i sistemi di teriscaldamento o ambienti in cui i livelli di rumorosità possono rappresentare un problema. I cuscinetti magnetici e la compressione a centrifuga assicurano che il compressore funzioni a livelli di rumorosità estremamente bassi – in media, circa 8 dB(A) in meno rispetto a un compressore scroll di capacità equivalente.

I modelli di compressori per applicazioni medium/high-lift utilizzati nelle pompe di calore della Ringsted DHC utilizzano inoltre refrigeranti HFO R1234ze a ultra-low GWP e il design ermetico della pompa di calore assemblata in fabbrica impedisce che il refrigerante fuoriesca nell'ambiente.



Il futuro del teleriscaldamento

Un teleriscaldamento efficiente non dovrebbe avere alcun impatto sull'ambiente e grazie alle pompe di calore oil-free questo è possibile.

L'introduzione di pompe di calore elettriche acqua-acqua e altri componenti per il recupero del calore, hanno permesso alla Ringsted DHC di catturare fino all'ultimo kW di calore in eccesso e di utilizzarlo per aumentare la capacità e l'efficienza del sistema di teleriscaldamento. Ciò non solo consente all'impianto di raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione, di ridurre al minimo la dipendenza dai combustibili fossili e migliorare l'efficienza dell'impianto, ma riduce anche al minimo il prezzo del riscaldamento per gli utenti.

Questo evidenzia le opportunità che le pompe di calore oil-free possono offrire ad altri fornitori di servizi distrettuali ed alle municipalizzate e inoltre mostra come, man mano che le normative ambientali diventano più severe, è possibile affrontarle in maniera intelligente, sicura ed ecosostenibile.

HighLift: una pompa di calore industriale fino a 200°C

..... Marya Masood, Olindo Technologies

HighLift è una pompa di calore innovativa ed ecologica, basata su un ciclo Stirling inverso. Estrae energia dal calore di scarto e la trasforma per produrre calore di processo ad alta temperatura, sotto forma di acqua calda o vapore (fino a 10 bar) con temperature fino a 200°C. Questo riutilizzo del calore di scarto già disponibile significa che questa pompa di calore è una scelta sempre più interessante per le industrie e le aziende che cercano di ridurre la loro dipendenza dai combustibili fossili andando verso soluzioni più ecologiche e rispettose del clima.

La pompa di calore HighLift

Pompa di calore per applicazioni industriali ad alta temperatura:

- Riutilizza il calore di scarto per fornire calore di processo fino a 200°C
- Potenza nominale 750 kW termici
- Può erogare 1 tonnellata di vapore all'ora
- Utilizza elio, un gas lavoro ecologico
- Permette di ridurre le emissioni di CO2 fino a 1300 t all'anno

Caratteristiche tecniche

- **Gas di lavoro:** Elio (R704), classificazione di sicurezza A1, GWP 0, ODP 0, non esplosivo, non tossico
- **Pressione del vapore:** 10 bar
- **Numero di cilindri:** 4
- **Numero di scambiatori di calore:** 16
- **Manutenzione:** Una volta all'anno, con 8.000 ore di lavoro
- **Vita attesa:** 20+ anni
- **Design:**
 - o Stirling (configurazione alfa¹) a 4 circuiti
 - o 4 cilindri a V di 90°, pistoni a doppia azione
 - o I circuiti del motore/pompa di calore sono pressurizzati
 - o La pompa di calore ha sottosistemi separati per lubrificazione e raffreddamento, gestione e controllo del gas di lavoro, diagnostica e registrazione
- **Tipici esempi di applicazione:**
 - o **Vapore a 3 bar, calore di scarto a 10°C:**
 - Vapore: 750 kW
 - Raffreddamento: 336 kW
 - Potenza elettrica assorbita: 383 kW
 - o **Vapore a 10 bar, calore di scarto a 90°C:**
 - Vapore: 750 kW
 - Raffreddamento: 381 kW
 - Potenza elettrica assorbita: 295 kW

Pompa di calore ad alta temperatura per la produzione di vapore presso AstraZeneca

Lo stabilimento AstraZeneca a Göteborg, Svezia ha storicamente utilizzato combustibili fossili per la produzione di vapore. Nel 1997 si è passati da olio pesante a gas naturale e nel 2018 sono state introdotte modifiche impiantistiche, passando al biogas, con conseguente riduzione delle emissioni di CO₂ nel corso degli anni. Una parte tecnica dell'aggiornamento consisteva nella produzione di vapore con pompe di calore ad alta temperatura: una soluzione più efficiente, più robusta, meno costosa e, se possibile (a seconda della fonte di energia elettrica), anche più sostenibile. Sono state installate tre pompe di calore HighLift, ciascuna con una capacità termica di 500 kW di vapore a 10 bar di pressione, che recupera il calore di scarto dei chiller

¹ Configurazione del motore Stirling con due pistoni in due cilindri separati, collegati sorgente calda, rigeneratore, sorgente fredda.

per la climatizzazione come fonte di calore. Una quarta macchina, che è una versione aggiornata con una capacità di 750 kW termici, è stata installata nel 2021. I principali componenti degli impianti oltre alle pompe di calore sono i circuiti di scambio e i generatori di vapore.

La fonte di energia termica a bassa temperatura è un circuito di recupero del calore che viene ceduto indirettamente alle pompe di calore. Le pompe di calore utilizzano questo calore innalzandolo di temperatura e trasferendolo a un circuito caldo che lo cede a un generatore di vapore a fascio tubiero e a piastre. Il vapore ivi generato viene immesso nel circuito di distribuzione del vapore. I circuiti di trasferimento del calore a bassa temperatura sono circuiti chiusi ad acqua, mentre quelli ad alta temperatura sono circuiti chiusi ad acqua pressurizzata.

Esperienza

In questo caso dimostrativo, in cui il vapore viene erogato a 180°C, viene provata l'applicazione di un motore Stirling azionato come pompa di calore su scala industriale. Viene fornita una breve valutazione delle perdite e dei benefici, seguita dai dati sulle prestazioni tecniche dell'attuale installazione presso il centro di ricerca e sviluppo di AstraZeneca in Svezia. Le attività attuali riguardano il miglioramento dell'efficienza e dell'affidabilità del sistema aumentando la potenza termica da 500 a 750 kW e, allo stesso tempo, l'aumento del TRL (Technology Readiness Level 1-9) della pompa di calore dal livello 7 al livello 9.

Installazione in AstraZeneca

Anno di installazione: 2017/2021

Gas di lavoro: R-704 (Elio)

Compressore: a Pistoni

Produttore: Olvondo Technology AS

Prestazioni nominali: point:

- Sorgente fredda: 36 °C → 34 °C (acqua)
- Sorgente calda: 178 °C → 183 °C (vapore)
- Potenza termica: 2,3 MW
- COP_{Riscaldamento}: 1.9

Investmentot: 3 pompe di calore HighLift circa € 1.800.000 (esclusa integrazione interna ma inclusi sistema di monitoraggio e controllo e soluzione di Elio).

Risparmio energetico 14 GWh all'anno

Risparmio stimato di CO2: 3900 ton/a

Per approfondimenti, fare riferimento all'articolo Environmentally friendly steam generation using VHTHPs at a pharmaceutical research facility by Tor- Martin Tveit, Martin Johansson, Cornelis A P Zevenhoven:

http://highlift.olvondotech.no/wp-content/uploads/Page1-of-191218_IEA13-HPC2020_Tveit_et_al.pdf

Tine

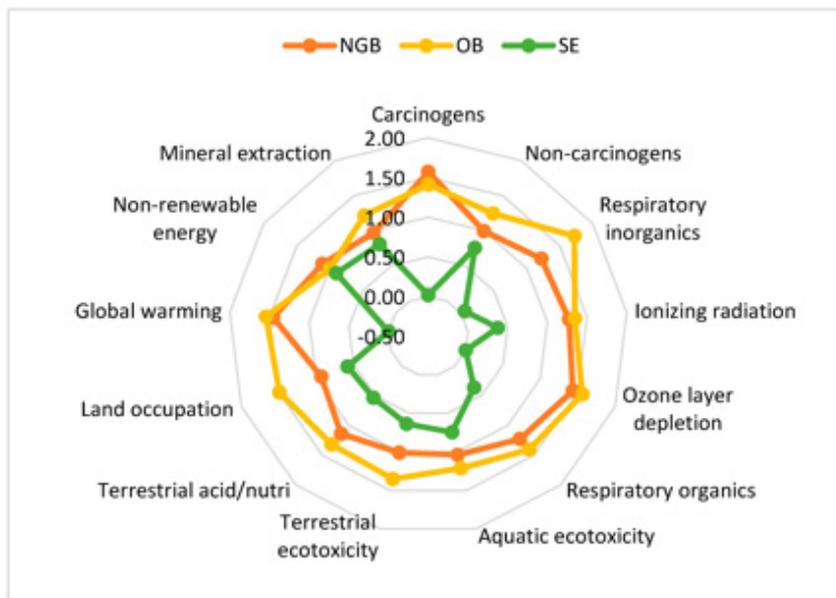
Tine è un gruppo lattiero-caseario norvegese con un impianto di produzione ad Ålesund, in Norvegia. Tine mira a essere carbon neutral entro il 2025 e per questo ha scelto di ricorrere a pompe di calore. Di seguito una sintesi dei risultati delle pompe di calore installate per la prima volta nel 2016 presso l'impianto di produzione lattiero-casearia norvegese:

Installazione in Tine

- Fabbisogno annuale di vapore di 12 GWh.
- 80% del vapore fornito da tre HighLifts.
- Temperatura di vapore 175 - 184° C (8-10 bar).
- Teleriscaldamento alimentato da inceneritore di rifiuti 90°C - 100° C.
- COP 2,2
- Risparmio energetico 5,GWh che rappresenta una riduzione annua del 30% del costo dell'energia.
- Ulteriori risparmi sui costi derivanti dagli effetti secondari per un valore di circa 30.000 € all'anno.
- Riduzione della CO2 del 66%.

Impatto ambientale

È stato condotto un Life Cycle Assessment (LCA), uno strumento che valuta e quantifica gli impatti ambientali associati al prodotto/processo sull'intero ciclo di vita di un prodotto. Grazie a tale azione si è mostrato che la pompa di calore HighLift eccelle in tutte le categorie valutate. Una pompa di calore a ciclo Sterling (SE) ha il minor impatto negativo sull'ambiente rispetto a una caldaia a gasolio (OB) e a una caldaia a gas naturale (NGB), come illustrato nel grafico radar di seguito:



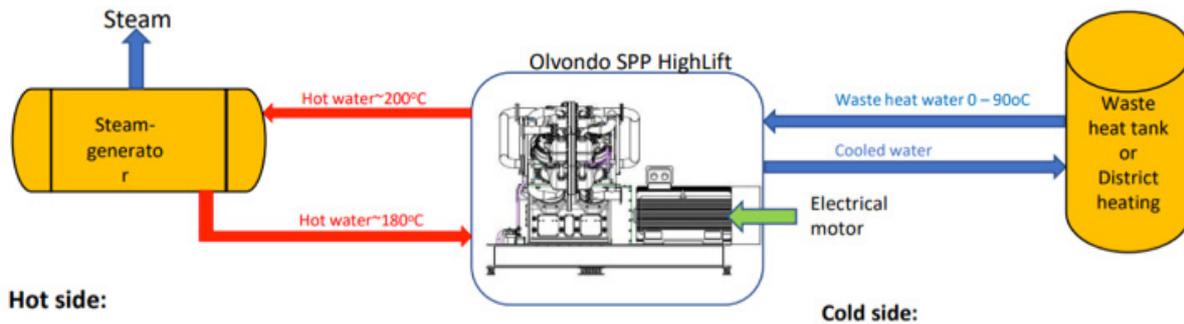
È stato utilizzato il metodo IMPACT 2002+ per classificare e caratterizzare le prestazioni ambientali del sistema. Se applicato al caso di un caseificio norvegese, la riduzione dell'impatto ambientale rispetto a un bruciatore a gas naturale (kPt) sarà del 93%.

Per ulteriori informazioni sull'impatto ambientale, fare riferimento all'articolo Evaluation of the Environmental Sustainability of a Stirling Cycle-Based Heat Pump Using LCA di Khan U, Zevenhoven R, Tveit T-M.

<http://highlift.olvondotech.no/evaluation-of-the-environmental-sustainability-of-a-stirling-cycle-based-heat-pump-using-lca/>

I casi presentati evidenziano come la pompa di calore HighLift sia un'ottima alternativa per produrre calore di processo ad alta temperatura rispetto ai tradizionali metodi basati sui combustibili fossili, valorizzando il calore di scarto ed eliminando o riducendo (a seconda del mix di generazione elettrica) la necessità di combustibili che producono gas serra.

Diagramma di processo semplificato



Lato caldo

- L'acqua dal fondo del serbatoio va alla pompa di calore
- L'acqua si scalda nella pompa di calore
- L'acqua surriscaldata torna nel serbatoio e produce vapore

Lato freddo

- L'acqua dalla fonte di calore di scarto o dal teleriscaldamento arriva alla pompa di calore
- L'acqua si raffredda nella pompa di calore
- L'acqua raffreddata può essere utilizzata per raffreddare o torna alla fonte di calore di scarto.

Ciclo termodinamico

