



PROGETTARE “a caldo”

di UMBERTO MERLO
ingegnere, Laboratorio
Ricerca & Sviluppo, LU-VE spa

PRESENTAZIONE DEL SISTEMA
DI SBRINAMENTO A GLICOLE CALDO
PER AEROEVAPORATORI
E AEROREFRIGERANTI DELLA SERIE
INDUSTRIALE LHS LU-VE

Nel 2005 Lu-Ve, nota azienda presente a livello nazionale e internazionale nel settore degli scambiatori di calore per la refrigerazione, il condizionamento dell'aria e le applicazioni industriali, ha introdotto sul mercato una nuova serie di aero-evaporatori industriali: gli CHS e LHS ad aletta intagliata. Questa serie include un'ampia gamma di modelli e di varianti costruttive in grado di soddisfare le molteplici esigenze dei costruttori di impianti frigoriferi industriali. L'anno successivo, nel 2006, per gli aero-evaporatori e aero-refrigeranti della serie LHS (matrice quadra) è stato introdotto e sviluppato un innovativo sistema di sbrinamento che impiega glicole caldo. Nello specifico: il glicole caldo viene fatto circolare in un circuito ausiliario dedicato, posto nel pacco alettato e nella bacinella, in modo da eseguire lo sbrinamento con rendimenti molto elevati, costi di esercizio sensibilmente ridotti e diminuzione della potenza elettrica impegnata.

IL NUOVO SISTEMA DI SBRINAMENTO

Il sistema di sbrinamento a glicole caldo, consiste nel riscaldare il glicole contenuto in un serbatoio di accumulo tramite una parte del calore di condensazione (in genere è sufficiente il solo calore di de-surriscaldamento del gas all'uscita del compressore) durante il funzionamento del ciclo di refrigerazione. Tale calore viene sottratto a monte del condensatore, tramite uno scambiatore; di conseguenza, lo sbrinamento viene eseguito gratuitamente, senza dispendio di energia, a parte quella necessaria per far circolare il glicole con pompe ausiliarie.

Lo sbrinamento dell'aero-evaporatore o dell'aero-refrigerante viene eseguito integralmente dal glicole caldo, sia per il pacco alettato e la

contro-bacinella, sia per i collettori dedicati al circuito di refrigerazione. Chiaramente si rende necessario approntare una linea elettrica per l'alimentazione dei ventilatori.

Come verrà indicato successivamente, nella descrizione di un'installazione, questo tipo di sbrinamento richiede una tecnologia impiantistica leggermente più complessa, con un costo superiore rispetto allo sbrinamento elettrico classico, tuttavia i tempi di recupero dell'investimento sono molto vantaggiosi. In linea di massima, dal punto di vista prettamente progettuale/termodinamico, si possono indicare alcuni parametri caratteristici di questo sistema di sbrinamento. La temperatura di accumulo del glicole, in genere etilenico (la cui concentrazione è adatta alla temperatura dell'ambiente invernale del luogo di installazione), può variare da 30°C a 50°C, sfruttando il solo calore sensibile di de-surriscaldamento (calore che in genere rappresenta il 20% del calore totale di condensazione). La portata di glicole che cir-

Punti chiave

- * Studi e prove sperimentali
- * Valutazioni sul ROI
- * Impatto ambientale



cola nell'apparecchio è definita imponendo un salto termico tra entrata e uscita (circa 5-20°C), tale che le perdite di carico abbiano un valore di circa 50 kPa. A questo punto, definendo un carico di brina ragionevole (occlusione passo alette 25%), si può determinare il tempo di sbrinamento e di conseguenza, conoscendo la potenza termica necessaria allo sbrinamento (glicole caldo), determinare anche la quantità minima di glicole da accumulare (serbatoio). Una verifica importante da eseguire è che la durata minima di funzionamento del ciclo frigorifero sia inferiore all'intervallo di tempo tra uno sbrinamento e il successivo (questo per ripristinare le condizioni di temperatura del glicole nel serbatoio). Questo iter progettuale è stato automatizzato nel codice di calcolo Lu-Ve, in modo che, durante la selezione di un aero-evaporatore (o aero-refrigerante), ci sia la possibilità di dimensionare anche il sistema di sbrinamento a glicole caldo.

RISULTATI SPERIMENTALI

Il sistema di sbrinamento a glicole caldo è stato testato nei laboratori di Ricerca e Sviluppo, in svariate condizioni operative di funzionamento e di hardware del sistema (posizione attacchi, circuiti, ingressi, valvole, ecc.). Si è così potuto, avere un quadro ampio di possibilità costruttive e prestazionali, per poi definire la migliore soluzione che ottimizza il rapporto costo/prestazione. Il parametro fondamentale per comprendere il grado di maggior efficienza di un sistema di sbrinamento rispetto a un altro è il rendimento, definito come rapporto tra il calore necessario per sciogliere la brina dalla superficie dell'apparecchio e il calore realmente immesso (elettrico o glicole caldo). Il grafico di figura 1 riporta l'andamento del rendimento di sbrinamento, sia con resistenze elettriche sia con glicole caldo, in funzione del carico di brina sulla superficie, a parità di condizioni di funzionamento ($T_{camera} = -20^{\circ}\text{C}$, $T_{evap.} = -30^{\circ}\text{C}$, $UR = 85\%$). Il carico di brina è definito come il rapporto tra lo spessore medio di brina depositato sulla superficie esterna (per ipotesi uniforme) e il passo delle alette (ad esempio: grado di intasamento del 25%, significa uno spessore medio della brina di 1,25mm, relativo a un passo tra le alette di 10mm). Come si può notare, a pari carico di brina (ad esempio: 25% carico standard), il rendimento di sbrinamento con glicole caldo è circa del 65%, mentre con

FIGURA 1 - RENDIMENTO DI SBRINAMENTO

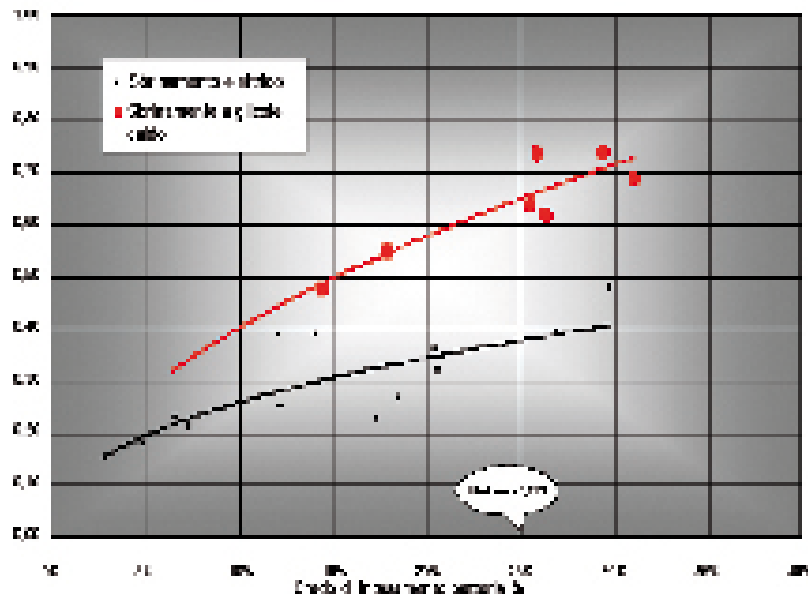
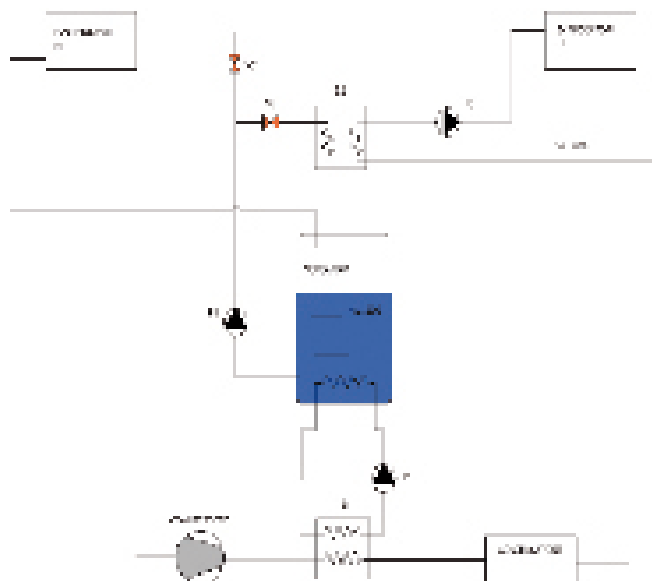


FIGURA 2 - POMPE DI CIRCOLAZIONE



il sistema tradizionale a resistenze elettriche è solo del 38%. Come già evidenziato, il sistema di sbrinamento a glicole caldo, oltre a utilizzare il calore gratuito prodotto dalla condensazione, possiede anche un rendimento superiore rispetto alla versione elettrica. A parità di calore

impresso e di carico di brina, ciò comporta un tempo di sbrinamento inferiore. Indicativamente, se il rapporto tra i rendimenti di sbrinamento è $65/38 = 1,7$ e il tempo di sbrinamento con resistenze elettriche è di 30 minuti. Con l'impiego del glicole caldo occorreranno invece



soltanto 18 minuti. Di conseguenza, il compressore potrà funzionare per un tempo superiore e l'aero-evaporatore dovrà asportare dalla cella frigorifera un minor calore disperso durante la fase di sbrinamento.

L'ANALISI TECNICO-ECONOMICA

La seguente analisi ha lo scopo di valutare la convenienza economica di un impianto di refrigerazione (che è in funzione già da 2 anni) che utilizza aero-evaporatori a espansione diretta, in bassa temperatura BT e aero-refrigeranti in normale temperatura NT, con il sistema di sbrinamento a glicole etilenico caldo.

L'impianto di refrigerazione - con potenza frigorifera di circa 600 kW - consta di 23 apparecchi della nuova serie industriale LHS LU-VE dotati di circuiti dedicati alla refrigerazione e di circuiti dedicati allo sbrinamento a glicole caldo, di cui 6 in bassa temperatura (temperatura cella -25°C) e di altri 17 in temperatura normale (temperatura cella +2°C). Gli apparecchi in bassa temperatura funzionano con ciclo a espansione diretta a $DT1=6^{\circ}\text{C}$, quindi con temperatura all'aspirazione dei compressori pari a -31°C . Invece gli aero-refrigeranti funzionano a $DT1=5^{\circ}\text{C}$ (il chiller opera a una temperatura di espansione di -8°C). In tali condizioni si è misurato sull'impianto il COP dei due sistemi di refrigerazione: in bassa temperatura si ha $\text{COP}=1,04$; in normale temperatura (chiller) si ha $\text{COP}=2,4$ (temperatura di condensazione 40°C). Il circuito di produzione del glicole caldo è composto da: uno scambiatore di calore tra il gas di mandata dei compressori S1 e il glicole contenuto nel serbatoio di accumulo; una pompa di circolazione sempre attiva P1 (si veda lo schema semplificato in figura 2).

I circuiti di sbrinamento sono divisi in due parti: una per gli apparecchi in NT: il glicole caldo è prelevato dal serbatoio e fatto circolare durante lo sbrinamento (pompa P2); un'altra per gli apparecchi in BT: tra il glicole caldo contenuto nel serbatoio e il glicole circolante negli aero-evaporatori con concentrazione superiore è interposto uno scambiatore di calore S2; la circolazione è consentita da due pompe (P2 e P3). Lo sbrinamento viene eseguito: ogni 12 ore su 3 apparecchi per volta in BT; ogni 6 ore su 4



apparecchi per volta in NT. Il confronto energetico ed economico viene quindi eseguito tra apparecchi con sistema di sbrinamento a glicole caldo e identici apparecchi con un sistema di sbrinamento tradizionale elettrico. Questo confronto viene eseguito per ogni tipologia di apparecchio installato. Il confronto energetico viene eseguito calcolando l'energia utile asportata dalla cella frigorifera, sottraendo all'energia frigorifera l'energia immessa dai ventilatori e quella immessa durante lo sbrinamento (pari all'energia consumata durante lo sbrinamento moltiplicata per $[1-\eta_{\text{sbrinamento}}]$).

Il confronto economico passa attraverso la misura sperimentale del COP (valore medio) e calcolando il costo annuale di esercizio, considerando un costo dell'energia elettrica pari a $0,10 \text{ €/kWh}$.

La differenza di costo di esercizio - a pari energia utile prodotta - delle due configurazioni ci permette di calcolare il risparmio annuo per ogni tipologia di apparecchio (Δ costo per energia utile prodotta), che moltiplicato per il numero di apparecchi dello stesso modello ci fornisce il risparmio annuo totale (circa 37.500 €/anno). Per la configurazione con sbrinamento a glicole caldo occorre sottrarre al risparmio annuo totale le spese di funzionamento delle pompe di circolazione (P1, P2 e P3); tale valore è di circa 2.080 €/anno . L'investimento aggiuntivo sostenuto per la costruzione dell'impianto per sbrinamento a glicole (serbatoio di stoccaggio, pompe di circolazione, linee, valvole, ecc.) e un maggiore costo degli aero-evaporatori/aero-refrigeranti dovuto al fatto che ci sono circuitazioni aggiuntive, si aggira attorno ai 49.000 € .

In ultima analisi, si può calcolare il tempo di recupero dell'investimento in 1,4 anni. È fondamentale rilevare che in queste condizioni, in ulteriori 7,2 anni, l'utente recupera l'intero costo dell'impianto.



CONCLUSIONI

L'installazione analizzata ha dimostrato che si possono recuperare gli investimenti aggiuntivi dell'impianto per sbrinamento a glicole caldo in tempi brevi, adottando una tecnologia relativamente complessa e sostenendo costi iniziali non eccessivamente alti.

Come è noto, gli impianti più complessi riducono l'affidabilità totale rispetto a soluzioni più semplici, come quella di uno sbrinamento elettrico; ciononostante, visti i risparmi ottenuti, le manutenzioni addizionali sono ampiamente compensate.

Dal punto di vista dell'impatto ambientale, impiegando la soluzioni qui proposta, possiamo calcolare il quantitativo di anidride carbonica che si eviterebbe di immettere nell'atmosfera. Dal calcolo fatto in precedenza sul risparmio monetario annuo (circa 37.500 €/anno), si ricava il valore di risparmio di energia elettrica (circa 375.000 kWh/anno) attraverso il costo dell'energia ($0,10 \text{ €/kWh}$). Inoltre ipotizzando che l'energia elettrica sia prodotta da una centrale termoelettrica che brucia gas naturale, risulta noto il quantitativo medio di immissione in ambiente di anidride carbonica per ogni kWh prodotto (circa $630 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$). Di conseguenza si può determinare quanto di questo "gas serra" si evita di produrre ($375.000 \times 630 \approx 236$ tonnellate/anno).

NOTE

I calcoli sono stati effettuati sulla base di una applicazione importante, su una cella di circa 11.000 m^3 , realizzata da Air Control srl di Besnate, utilizzando compressori Bitzer e condensatori remoti e aero-evaporatori/aero-refrigeranti con sbrinamento a glicole Lu-Ve.