



i QUADERNI del FREDDO

Sistemi e componenti per lo scambio termico

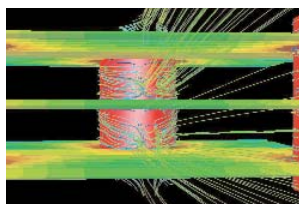
fifreddo

una iniziativa sponsorizzata da:



INDICE

Sistemi e componenti per lo scambio termico



Articoli

- Introduzione:
Lo scambio termico
di Andrea Verondini pagina 2
- Scambiatori di calore ad aria
per cicli frigoriferi a CO₂
di Giovanni Lozza e Carlo Perfetti pagina 7
- Gas cooler per l'impianto
più grande al mondo
a cura di LU-VE pagina 14
- Prestazioni durante
la formazione di brina
di Umberto Merlo pagina 16
- LU-VE: 1986-2006
I primi 20 anni
a cura di LU-VE pagina 22

Schede prodotto

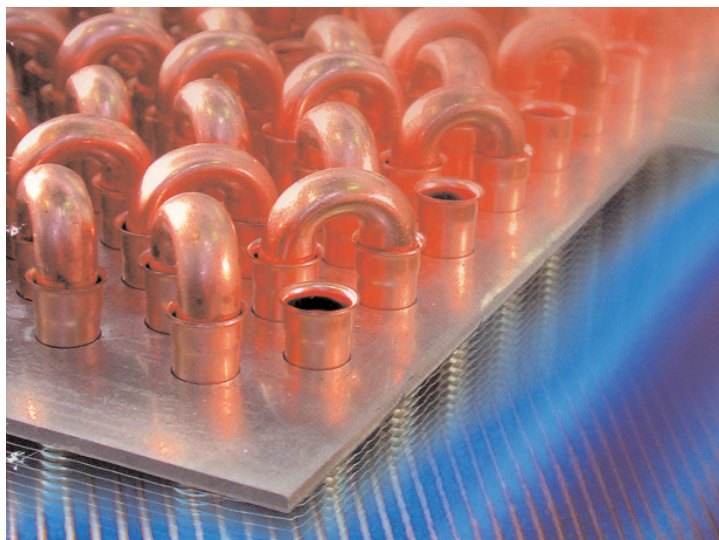
- La qualità della vita
nella catena del freddo pagina 26
- Company profiles
Techair LB - SEST -
SEST LU-VE Polska - HTS pagina 28

Lo scambio termico

di Andrea Verondini

Possiamo definire lo scambio termico come *“uno scambio d’energia tra due corpi a capacità finita”* nel caso di due o più masse di quantità finita, oppure *“uno scambio d’energia tra due serbatoi”* nel caso di due o più masse di capacità termica (praticamente) infinita

Che cos’è il calore? Dapprima, il calore fu immaginato come un fluido che permeasse la materia, detto, appunto, fluido ‘calorico’. Ma questa teoria cambiò velocemente e l’idea del fluido lasciò posto ad un’altra concezione quale *“stato eccitato della materia”*. Questa eccitazione si propaga mediante il contatto diretto oppure attraverso le onde elettromagnetiche, soprattutto quelle della banda infrarossa. Il calore è energia che viene trasmessa fra due corpi in virtù della loro differenza di temperatura. Possiamo, quindi, definire lo scambio termico come *“uno scambio d’energia tra due corpi a capacità finita”* nel caso di due o più masse di quantità finita, oppure *“uno scambio d’energia tra due serbatoi”* nel caso di due o più masse di capacità termica (praticamente) infinita come ad esempio avviene tra il sole e la terra dove il sole irradia energia verso la terra senza che questa aumenti la sua temperatura e, viceversa, senza che il sole diminuisca la propria; in questo caso la temperatura dei due corpi non cambia.





Per quanto detto sopra possiamo aggiungere qualche considerazione:

- L'energia interna è una proprietà dei corpi.
- Il calore è un modo con cui l'energia interna può essere trasferita da un sistema all'altro. Il primo principio della termodinamica stabilisce che comunque l'energia è una quantità che si conserva.

In termodinamica si introduce un nuovo tipo d'energia, chiamata energia interna, costituita, in ultima analisi, dall'energia (cinetica e potenziale) delle molecole che costituiscono il corpo

- Nel caso semplice della trasmissione dell'energia come calore fra due corpi questo significa banalmente che l'energia perduta dal primo si ritrova integralmente nel secondo.

In meccanica si definiscono l'energia cinetica e quella potenziale.

Tali quantità dipendono da proprietà "esterne" del corpo: velocità e posizione.

In termodinamica si introduce un nuovo tipo d'energia, chiamata energia interna, costituita, in ultima analisi, dall'energia (cinetica e potenziale) delle molecole che costituiscono il corpo, in quan-

approfondimento



Numero di Reynolds

Questo gruppo adimensionale esprime il rapporto tra le forze d'inerzia e le forze viscose ed è dato da:

$$R_e = \frac{w * d * \rho}{\mu} \quad (1)$$

dove:

R_e numero di Reynolds

w velocità del fluido all'interno

della tubazione [m/s]

d diametro interno della tubazione [m]

ρ densità del fluido [kg/m³]

μ viscosità dinamica del fluido [Pa*s]

Numero di Biot

Possiamo dire che tale numero è usato nei casi di conduzione e rappresenta il rapporto tra la resistenza termica interna di un corpo, dovuta alla conduzione, e la resistenza termica esterna dovuta alla convezione.

$$B_i = \frac{\alpha * L}{\lambda} \quad (2)$$

dove:

B_i numero di Biot

α coefficiente di convezione [W/(m²*K)]

L lunghezza di riferimento [m]

λ conduttività termica [W/(m*K)]

Numero di Nusselt

Possiamo dire che tale numero è usato nei casi di convezione e, questo, coincide con il gradiente adimensionale di temperatura calcolato nel fluido in corrispondenza della parete.

$$N_u = \frac{\alpha * L}{\lambda} \quad (3)$$

dove:

Nu numero di Nusselt

α coefficiente di convezione [W/(m²*K)]

L lunghezza di riferimento [m]

λ conduttività termica [W/(m*K)]

► introduzione

to tali molecole (che, ricordiamo, sono un numero enorme, dell'ordine di 10^{23}) si muovono incessantemente per agitazione termica e interagiscono fra di loro. Poiché l'ampiezza di agitazione termica dipende dalla temperatura, un'indicazione sul maggiore o minor valore dell'energia interna di un corpo è data dalla sua temperatura.

A seconda del mezzo interposto fra i due corpi che si scambiano calore si definiscono tre diverse modalità in cui tale processo avviene: *conduzione, convezione e irraggiamento*.

Conduzione

La conduzione è un processo mediante il quale l'energia si trasferisce, sotto forma di calore, da una porzione di un solido a temperatura maggiore verso una regione a temperatura minore.

Nella conduzione l'energia si trasmette per contatto diretto tra molecole senza che si spostino sensibilmente.

Secondo la teoria cinetica, la temperatura di un elemento materiale è proporzionale all'energia cinetica media delle sue molecole e l'energia posseduta da un elemento materiale, in virtù della velocità e della posizione relativa delle molecole, si chiama

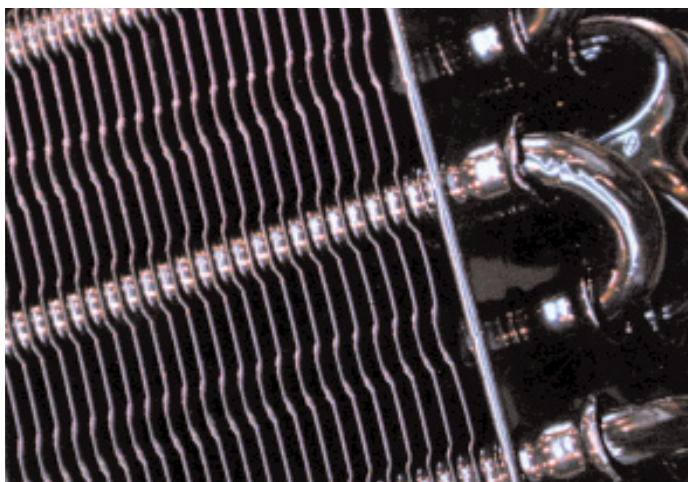
energia interna. La conduzione è il solo meccanismo secondo cui il calore può propagarsi nei solidi opachi. Se ad esempio scaldiamo il capo di una barra di metallo, si nota che, dopo poco tempo, senza che vi sia stato movimento di materia, il calore è giunto all'altra estremità della barra.

Questo si può spiegare immaginando che le mo-

**A seconda del mezzo
interposto fra i due corpi
che si scambiano calore
si definiscono tre diverse
modalità in cui tale processo
avviene: conduzione,
convezione e irraggiamento**

lecole di una regione acquistano un'energia cinetica media maggiore delle molecole di una regione adiacente per poi trasferire una parte di detta energia alle stesse.

Lo scambio d'energia può avvenire per la diffusione degli elettroni più veloci, nel caso di metalli, oppure per urto elastico nei fluidi. Indipendentemente





dal meccanismo l'effetto che si riscontra, è un aumento della temperatura del corpo.

Convezione

Si dice che si è in presenza di convezione termica, quando oltre alla conduzione, a livello molecolare, si sovrappone un trasporto d'energia interna da un punto all'altro del sistema, dovuto al fatto che gli elementi del fluido sono dotati di un moto relativo l'uno rispetto all'altro.

La convezione è un fenomeno tipico dei gas e dei liquidi.

Quando si scalda una parte di essi, si verifica un movimento ascensionale dovuto alla minore densità della parte più calda.

Nel caso di una pentola piena d'acqua e posta sul fuoco, o del termosifone posto all'interno di una stanza, si provoca, così, una circolazione del fluido (acqua nella pentola e aria nel caso del termosifone) dovuto alla risalita delle particelle riscaldate ed alla discesa di quelle più fredde.

Irraggiamento

L'esperienza mostra che un sistema che si trova ad una certa temperatura ed è circondato dal vuoto, se lasciato a se stesso tende a raffreddarsi. Poiché in tali condizioni è impossibile lo scambio d'energia termica per conduzione e per convezione, è necessario pensare che esista un terzo modo di trasmissione del calore, che prende il nome d'irrag-

approfondimento



➤ SEGUE DA PAGINA 3

Occorre a questo punto osservare come il numero di Nusselt abbia la stessa struttura del numero di Biot.

Occorre, comunque, tenere presente che il numero di Nusselt caratterizza la convezione e, quindi è riferito alla conduttività termica del fluido ed alla dimensione caratteristica del dominio fluido.

Al contrario, il numero di Biot, caratterizza la conduzione e, quindi, è riferito alla conduttività termica del solido ed alla dimensione caratteristica del dominio del solido.

Numero di Prandtl

Tale valore dipende esclusivamente dalla natura del fluido e rappresenta il rapporto fra la diffusività della quantità di moto e la diffusività termica; esso è fornito dalla seguente equazione:

$$P_r = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} \quad (4)$$

dove:

P_r numero di Prandtl

C_p calore specifico [J/(kg*K)]

μ viscosità dinamica del fluido [Pa*s]

λ conduttività termica [W/(m*K)]

Numero di Grashof

Rappresenta la velocità equivalente dovuta alle spinte di galleggiamento e si ricava dalla seguente equazione:

$$G_r = \frac{L^3 \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot g \cdot \Delta t}{\mu^2} \quad (5)$$

dove:

G_r numero di Grashof

L lunghezza di riferimento [m]

ρ densità del fluido [kg/m³]

β coefficiente di dilatazione [1/K]

g accelerazione di gravità [m/s²]

t differenza di temperatura [K]

μ viscosità dinamica del fluido [Pa*s]

giamento ed è spiegato dalla teoria ondulatoria elettromagnetica e dalla teoria dei quanti.

La teoria delle onde viene utilizzata in molti campi della fisica per interpretare tutti i fenomeni che si propagano nello spazio trasportando energia da un punto all'altro.

Un esempio è costituito dalle onde luminose e termiche che partono dal Sole e raggiungono la Terra apportandovi una potenza di picco di circa 1000 W/m^2 .

La propagazione di tali onde avviene a causa di una sorgente che crea una perturbazione oscillatoria locale che viene trasmessa ai punti adiacenti ed in questi lo squilibrio provoca una ulteriore oscillazione, quindi poiché il processo si rigenera in ogni punto si ottiene lo spostamento della perturbazione nello spazio.

Le batterie di scambio termico destinate a fungere da evaporatore nel campo della refrigerazione, normalmente, interagiscono con l'ambiente circostante con scambi termici di tipo conduttivo e convettivo mentre i banchi frigoriferi possono vantare notevoli apporti di calore derivanti dall'irraggiamento dovuto alle luci del supermercato ed alle pareti circostanti.

Le stesse celle frigorifere, se poste all'interno di una struttura, sono destinate a scambiare energia termica per conduzione e per convezione.

In tutti i casi qui sopra citati, però, i problemi di scambio termico sono accompagnati da trasporto di vapore acqueo per condensazione del vapore su superfici fredde e, in molti casi, sono anche accompagnati da formazioni di brina e ghiaccio.

Si capisce, allora, come lo scambio termico sia anche accompagnato da trasmissione di massa che, spesse volte, agisce in maniera negativa sul coefficiente globale di scambio termico.

Conclusione

Il miglioramento delle prestazioni delle batterie ha richiesto una più approfondita conoscenza del loro comportamento termico. I parametri che influenzano il

coefficiente di scambio termico tra fluido interno e l'aria tali scambi sono notevoli e tra i più importanti possiamo ricordare:

- velocità del fluido all'interno dei tubi (ricordiamoci che in molti casi il fluido è allo stato di bifase)
- tipo di deflusso
- diametro dei tubi e forma interna
- disposizione dei tubi
- distanza tra i tubi e distanza tra i ranghi
- spessore dei tubi e delle alette
- forma costruttiva delle alette e la loro dimensione
- passo tra le stesse
- presenza di eventuale scambio di massa
- moto dell'aria all'interno del pacco alettato
- ecc.

È evidente che la determinazione di tutti questi parametri non può essere fatta solamente in via teorica, ma, come si suole spesso fare, deve essere confortata dalle prove di laboratorio.

Ed è per questo motivo che molte aziende si sono conformate ad una serie di normative europee dotandosi di propri laboratori che, ovviamente, devono rispondere agli standard imposti dalla Comunità.

Dopo aver verificato in laboratorio, a certe condizioni, una serie di parametri e dopo averne descritto, il loro comportamento in forma matematica, la progettazione di una gamma di batterie avviene, sempre più spesso, con modelli matematici di simulazione che, normalmente, suddividono il processo di scambio termico in più parti per poter ovviare agli errori che derivano dalla variabilità dei coefficienti di scambi e dalle proprietà del fluido.

Di contropartita si deve considerare la complessità delle procedure di calcolo che s'instaurano e la notevole mole di operazioni che si devono eseguire e che impongono l'uso dei calcolatori.

Per quanto detto potrebbe anche sembrare che non rimanga più molto da scoprire e, invece, le nuove tecnologie, come ad esempio quelle dei "microcanali" hanno rimesso in gioco tutto quanto era stato fino ad ora fatto aprendo nuove prospettive a soluzioni sempre più mirate ai bisogni dei consumatori.

Scambiatori di calore ad aria per cicli frigoriferi a CO₂

di Giovanni Lozza* e Carlo Perfetti**

L' utilizzo di fluidi 'naturali' nel settore degli impianti frigoriferi è spesso proposto come soluzione radicale per eliminare il contributo all'effetto serra causato dagli idrocarburi alogenati, appartenenti alla categoria degli HFC (quali R134a, R404A, R407C, R507, etc.). La CO₂ è un gas serra, anzi è il più importante e il più noto, ma i quantitativi utilizzati anche in caso di un impiego massiccio nel settore frigorifero sarebbero comunque irrilevanti rispetto a quelli prodotti dai processi di combustione, e comunque il suo GWP (Global Warming Impact) è molto basso rispetto a quello degli HFC (1 contro qualche migliaio). La CO₂ non presenta inoltre alcun problema di tossicità e infiammabilità, né di impatto sull'ozono. Tuttavia esiste un serio rischio che l'utilizzo della CO₂ non sia affatto una buona idea al fine del contenimento dell'effetto serra: pur risultando praticamente azzerato il contributo diretto, se i cicli frigoriferi a CO₂ risultassero meno efficienti di quelli tradizionali, ovvero caratterizzati da un COP più basso, aumenterebbe il contributo *indiretto*, quello cioè causato dalle maggiori emissioni di CO₂ (e di altri inquinanti) dalle centrali elettriche chiamate ad una maggior produzione e quindi a un maggior consumo di combustibili fossili¹. Per ottenere valori di COP sufficientemente elevati, per ottenere una reale riduzione dell'effetto serra, la scelta appropriata della tecnologia degli scambiatori di calore è una condizione fondamentale: la CO₂ è però notevolmente differente da tutti gli altri fluidi alogenati e pone al progettista degli scambiatori alcune problematiche assai peculiari, la cui discussione è il tema di questa memoria.

Gli scambiatori ad aria con CO₂

Negli impianti frigoriferi che utilizzano la CO₂ vi sono essenzialmente due tipologie di scambiatori di calore ad aria, che verranno trattati in questa memoria:

Studio presentato
al seminario europeo
"Anidride carbonica
come fluido
frigorifero"
organizzato
dal Centro Studi
Galileo il 27
novembre 2004
a Milano

➡ Informazioni

 da sapere

 approfondimento

► impianti a CO₂

- Gli *evaporatori*, che sono presenti in qualsiasi tipologia di impianto, sia con ciclo diretto a CO₂, sia con ciclo binario (con una sezione a CO₂ operante a bassa temperatura, mentre un altro fluido frigorifero opera a temperatura più elevata, cedendo calore all'ambiente esterno), sia con un sistema in cui la CO₂ ha solo la funzione di vettore dell'energia frigorifera, evaporando presso l'utenza e condensando in una macchina frigorifera.

Come vedremo, operando a bassa temperatura e quindi ad una pressione moderata, gli evaporatori non sono particolarmente critici dal punto di vista progettuale.

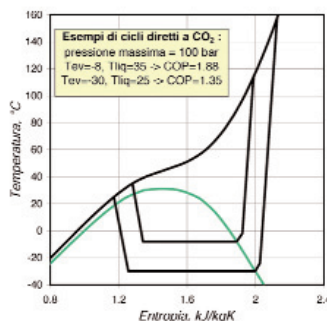
- I cosiddetti *"gas-coolers"*, ovvero quegli scambiatori, impiegati soltanto in un ciclo diretto a CO₂, che trasferiscono il calore dal fluido frigorifero all'ambiente esterno.

Sono in pratica l'equivalente dei condensatori usati per i fluidi alogenati: nei gas-coolers non avviene però una condensazione vera e propria (passaggio dalla fase vapore a quella liquida in equilibrio) ma solo la transizione da uno stato espanso ad uno più

compresso dello stesso fluido. Ciò si verifica perché la CO₂ ha una temperatura critica di soli 31°C e quindi deve operare a una pressione superiore a quella critica per avere una temperatura superiore a quella ambiente e quindi riversarvi il calore. Poiché la pressione critica della CO₂ è 73.8 bar, è evidente che sarà necessario adottare livelli di

Fig. 1

Esempi di cicli frigoriferi a CO₂



da sapere

Water spray

Lo spray di acqua sulla batteria è un'altra esclusività tecnologica offerta da LU-VE per i condensatori e i dry-coolers convenzionali, che è risultata di particolare interesse per le applicazioni con CO₂. L'idea del water-spray è molto semplice: in molti casi, i sistemi di dissipazione di calore in ambiente sono dimensionati sulla base delle condizioni estive più estreme, che tuttavia si presentano per poche ore ogni anno e costringono a un sovra-dimensionamento del sistema. È quindi conveniente, in quei periodi e solo in quelli (quindi per un numero limitato di ore/anno, da 100 a 500 a seconda delle scelte progettuali), far fronte ai carichi più elevati

mediante spray di acqua sulla batteria, che evaporando rimuove grandi quantità di calore, riducendo drasticamente la temperatura di condensazione o, nel caso della CO₂, la temperatura di uscita dal gas-cooler, migliorando notevolmente il COP. Su base annua, il consumo di acqua è molto limitato, perché effettuato per poche ore anno e con portate molto inferiori che nelle torri evaporative. Rispetto a queste ultime, non sussistono problemi igienici (i.e. legionella) perché l'acqua non evaporata (in quantità minima) viene dispersa e non ricircolata. Il problema principale di ogni sistema con spray d'acqua è quello della deposizione di solidi

(carbonato di calcio e altro) sulla superficie delle alette. LU-VE offre due sistemi alternativi: il primo, con un costo assai contenuto, include un addolcitore ed è adatto per acqua di buona qualità e per periodi di funzionamento limitati (non più di 500 ore/anno); il secondo, assai più sofisticato e noto con il nome commerciale "Wet & Dry" include un impianto di trattamento con osmosi inversa e additivazione de-acidificante per garantire una durata virtualmente illimitata della batteria anche con utilizzi molto intensi in termini di ore/anno. Ambedue i sistemi vengono normalmente offerti per le applicazioni operanti con CO₂.

pressione del tutto inusuali nei normali cicli frigoriferi.

La tipica forma di un ciclo frigorifero super-critico è visibile in fig. 1. Rispetto ai normali cicli frigoriferi che mostrano una cessione di calore a temperatura prevalentemente costante, i cicli supercritici hanno prestazioni (COP) fortemente influenzati non solo dalle pressioni massime e minime del ciclo, ma anche e soprattutto dalla temperatura di uscita del liquido dal gas-cooler, cioè quella temperatura da cui inizia la trasformazione iso-entalpica che viene operata dalla valvola di espansione². Questo parametro è molto importante, come dimostrato in precedenti memorie: l'ottenimento di basse temperature del liquido è fondamentale per il successo dei cicli termodinamici a CO₂.

Data la temperatura dell'ambiente in cui ciclo deve scaricare il calore, la temperatura del liquido in uscita è unicamente determinata dalla buona e corretta progettazione del gas-cooler, che diventa quindi l'elemento chiave per le prestazioni del ciclo.

Gli evaporatori

Un evaporatore per CO₂ in applicazioni per la refrigerazione non deve affrontare pressioni di esercizio particolarmente elevate (tab. 1), ma occorre tenere conto della situazione che si può creare in caso di lunghe fermate dell'impianto o durante lo sbrinamento, in cui la temperatura può salire ben oltre quella della cella frigorifera. Piuttosto che sovradimensionare l'evaporatore è comunque preferibile adottare accorgimenti impiantistici adeguati a limitare la pressione di progetto per esempio a 60 bar (valvole di sicurezza, svuotamento dell'evaporatore con 'pump-down') e anche meno. Tali valori di pressione sono solo di poco superiori a quelli normalmente usati nella refrigerazione (tutti gli aero-evaporatori LU-VE sono collaudati a 40 bar) e non impongono scelte progettuali particolari, anche se risulta preferibile aumentare lo spessore dei collettori e dei tubi della batteria alettata (per esempio, per i tubi 3/8" da 0.35 a 0.5 mm). È invece interessante considerare l'aspetto

delle performance, ossia stabilire se un aero-evaporatore progettato per i refrigeranti convenzionali può funzionare correttamente per CO₂, con modifiche nulle o limitate, e, se sì, con quale variazione in termini di potenza termica.

Bisogna premettere che le proprietà termofisiche della CO₂ sono favorevoli all'ottenimento di buone prestazioni in termini di scambio termico. Rispetto all'R404A, la CO₂ ha un calore specifico e una conducibilità termica più elevati e una minor viscosità; quest'ultima, unitamente alla maggior densità del vapore, consentono minori perdite di pressione a pari velocità di massa; considerando poi che, a pari potenza, il maggior calore di evaporazione fa sì che debba circolare una minor portata, la riduzione di perdite di pressione a pari potenza risulterà notevolissima.

La tab. 2 mostra i risultati della previsione teorica della potenza termica di un aero-evaporatore LU-VE durante le operazioni con CO₂ (in termini relativi a quella fornita con R404A), a due diverse temperature di evaporazione, nelle seguenti ipotesi:

- *Geometria invariata*: si rileva un aumento mode-

Fig. 2

Esempio di diagramma di scambio termico per un gas cooler di CO₂ confrontato a quello di un condensatore per un normale refrigerante (HFC, HC, NH₃)

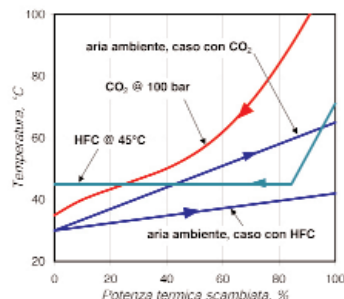
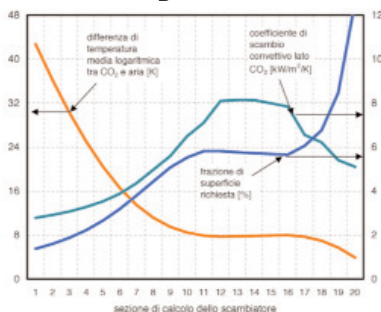


Fig. 3

Variazione di alcune grandezze significative nelle sezioni di calcolo di un gas cooler



sto della potenza a -8°C che a bassa temperatura diventa più consistente (da 3.5 a 11%); velocità e perdite di carico sono molto basse.

- **Riduzione del numero di alimentazioni:** si riportano le velocità interne a valori ottimali e si guadagna un 6-7% di potenza rispetto al caso precedente; dimezzando il numero di alimentazioni, si riduce in modo consistente il costo del collettore gas e del distributore.
- **Riduzione del numero di alimentazioni e uso di tubo liscio invece che microfin** (con microalettature elicoidali, comunemente impiegate negli aero-evaporatori LU-VE): l'elevato coefficiente di scambio interno diminuisce i vantaggi conseguibili con i tubi microalettati, che conseguentemente diventano minimi a -8°C ma restano significativi a -30°C.

Le ultime due soluzioni consentono un discreto miglioramento del costo specifico (€/kW) degli appa-

recchi, sempre che le pressioni di progetto richieste non superino i 40-60 bar.

LU-VE e SEST (consociata del gruppo LU-VE) hanno già fornito a numerosi clienti alcune centinaia di aero-evaporatori per CO₂, che operano sul campo ormai da qualche anno senza indicazioni misurabili di scostamenti di potenza da quanto previsto, né segnalazioni di problemi operativi.

I gas coolers

La tematica dei gas coolers è notevolmente più complessa, sia in relazione alla maggiore pressione operativa (che può arrivare anche a 150 bar) che alla diversa impostazione del problema progettuale. L'aspetto fondamentale per il progetto termodinamico è che, conseguentemente alle elevate temperature medie lungo l'isobara superiore (peraltro responsabili dei modesti valori di COP), con la CO₂ è possibile portare l'aria di raffreddamento a temperature molto più elevate di quanto non risulti plausibile con un refrigerante che presenti una vera e propria fase di condensazione.

La fig.2 mostra molto chiaramente questa situazione: è evidente che con CO₂ è possibile ottenere un ΔT dell'aria anche 2-3 volte superiore e conseguentemente utilizzare una portata di aria ridotta della stessa proporzione a parità di potenza termica da asportare. La forte riduzione di portata d'aria comporta notevolissimi vantaggi in termini di superficie frontale necessaria, di potenza elettrica richiesta per la ventilazione e di costo iniziale dei ventilatori e della loro regolazione. Per quantificare queste affermazioni è stato sviluppato un metodo di calcolo dello scambiatore in grado di tenere conto della particolare distribuzione dei ΔT tra CO₂ e aria (come

Tab.I - Legame temperatura [°C] – pressione [bar] per la CO₂. Dati da Refprop v.6.

T	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
p	10.04	12.02	14.26	16.81	19.67	22.88	26.45	30.42	34.81	39.65	44.97	50.81	57.22	64.25	72.05

Tab. 2 - Prestazioni comparative di aero-evaporatori per R404A e CO₂. I rapporti sono tuttavia validi per alcuni modelli rappresentativi, ma non sono applicabili a qualsiasi caso

Fluido	CO ₂			
	R404A	microalettato		
Tipo di tubo				liscio
n. alimentazioni parallele	N	N	N/2	N/3
potenza (rel. a R404A), Tev= -8°C, ΔT _i = 8K	100.0	103.5	110.6	108.2
potenza (rel. a R404A), Tev= -30°C, ΔT _i = 6K	100.0	111.1	117.7	112.0

da fig.2), nell'ipotesi di sistemazione in controcorrente³ dei flussi. Lo scambiatore viene suddiviso in 20 sezioni di calcolo, per ciascuna della quale vengono calcolati indipendentemente il ΔT medio logaritmico e il coefficiente di scambio interno (lato CO₂) con la correlazione di Gnielinski per i flussi monofase. La fig.3 mostra un esempio di come variano alcune grandezze significative nelle sezioni di calcolo, ognuna delle quali scambia 1/20 della potenza termica complessiva. Si noti che il coefficiente di scambio ha un massimo in prossimità del punto critico, mentre la richiesta di superficie aumenta notevolmente nelle fasi finali a causa principalmente della riduzione di ΔT tra i due fluidi. I risultati di fig.3 sono relativi a uno scambiatore ottimizzato per l'impiego con CO₂. La tab.3 mostra (in analogia con la tab.2) alcuni risultati ottenuti confrontando un condensatore per R404A (la classe di potenza è 170 kW con ΔT iniziale di 15K) con alcune soluzioni di potenza simile per CO₂. Il confronto è più complesso, in quanto la temperatura finale della CO₂ gioca un ruolo preponderante, ed è stato svolto in due modi: (i) a pari potenza variando la temperatura finale, (ii) a ΔT finale di 5 K, variando la potenza. La soluzioni considerate utilizzano una geometria di aletta 25x21.65 mm, con passo di 2.1 mm, che viene prodotta da LU-VE con turbolenziatore a persiana.

Nel caso di R404A è stato usato il tubo da 3/8" microalettato di normale produzione, mentre per CO₂

è stato necessario impiegare un tubo di minor diametro (5/16") e con maggior spessore per sopportare le pressioni di esercizio richieste dai gas co-olers. Questi tubi non sono disponibili in versione microalettata, peraltro di scarsa utilità visti i già buoni coefficienti di scambio (fig.3) e la dubbia efficacia di tali tubi per flussi monofase. Il numero di alimentazioni è ottimizzato in tutti i casi.

Le soluzioni proposte da tab.3 sono le seguenti:

- La prima è la soluzione di riferimento per R404A (in normale produzione).
- La seconda presenta la stessa dimensione di alettato (area frontale e ranghi) e la stessa ventilazione. La potenza è esuberante (ultima riga) o in alternativa è possibile ottenere un ΔT finale ridottissimo (il valore di 0.3K è però solo valido in perfetto contro-



Fig.4 - Un grande gas cooler per CO₂ con water-spray, pronto per la consegna



approfondimento

Le Conclusioni

Le applicazioni della CO₂ nell'industria frigorifera potrebbero in breve tempo divenire una realtà importante, nell'auspicio che le realizzazioni siano rispettose del principio di risparmio totale (diretto ma anche indiretto) di emissioni di gas serra. Dal punto di vista degli scambiatori di calore, limitandosi a quelli ad aria e al settore della refrigerazione, vi sono dei problemi (maggiori pressioni operative) ma anche delle notevoli opportunità, soprattutto nel caso progettuale più impegnativo che è quello dei gas coolers. Abbiamo visto come sia possibile ridurre la ventilazione e l'area frontale della batteria, a pari potenza e con ΔT finali molto ridotti (parametro quest'ultimo essenziale per ottenere un buon COP del ciclo). I risparmi in termini di costi di produzione dovrebbero in linea di principio poter compensare il maggior utilizzo di rame conseguente a spessori molto più elevati di tubi, curve e collettori, a patto tuttavia che la progettazione sia adeguatamente ottimizzata. Le applicazioni nel settore della refrigerazione comportano livelli di potenza piuttosto consistenti (per esempio rispetto al settore automobilistico), per i quali sono risultate perfettamente adeguate le geometrie di aleatura già disponibili per gli usi convenzionali, soprattutto nel caso della produzione LU-VE già da molti anni concentrata su tubi di piccolo diametro. Per i gas-coolers, è particolarmente significativa la possibilità di utilizzare sistemi water-spray per ovviare alla grave perdita di potenza e COP che si verificherebbe in occorrenza di elevate temperature estive, mitigando fortemente uno dei più gravi limiti applicativi degli impianti a CO₂ nel settore della refrigerazione.

corrente), tutto ciò a causa soprattutto del grandissimo ΔT tra CO₂ e aria (pari portata d'aria). In questa soluzione non è stata quindi sfruttata la sopracitata possibilità di ridurre la portata d'aria.

- La terza soluzione sfrutta appieno tale possibilità, utilizzando un solo ventilatore invece che tre. La superficie di scambio è stata ridistribuita per adeguarsi in modo ottimale a una portata d'aria ridotta: il numero di ranghi è stato raddoppiato e la superficie frontale è stata incrementata di un 50% circa, con una superficie di scambio praticamente uguale a quella originale. La potenza termica con ΔT finale di 3K è leggermente inferiore a quella di riferimento (-4%), a fronte di importanti riduzioni dell'ingombro in pianta (66%), dell'energia per la ventilazione (66%) e della rumorosità (4.8 dB). Va segnalato che in questi casi la temperatura dell'aria in uscita è dell'ordine dei 60°C: è quindi conveniente porre i ventilatori in mandata sulla batteria in quanto migliora nettamente lo stress termico sul motore e aumenta la portata massica di aria. Più in generale, le soluzioni ottimali possono variare a seconda della casistica progettuale e delle esigenze imposte dalla compatibilità con modelli esistenti, per ovvi motivi di produzione industriale. Tuttavia si può quindi concludere che l'utilizzo di CO₂ può comportare delle significative riduzioni delle dimensioni degli apparecchi, in relazione alla minor ventilazione richiesta, rispetto ad apparecchi di potenza simile per refrigeranti convenzionali, anche quando vengano richiesti ΔT finali molto contenuti (ad esempio 3K come in tab.3).

LU-VE ha ormai un'ampia esperienza con i gas coolers, avendo alcune decine di unità operative presso vari clienti soprattutto nel Nord-Europa.

Nella loro costruzione sono state adottate alcune soluzioni particolari:

- Il pacco di alette è interrotto secondo un disegno appropriato, per consentire le diverse espansioni termiche tra i tubi (l'escursione di temperatura è assai più ampia che per i condensatori convenzionali) e per evitare fenomeni di conduzione termica

Tab. 3 - Prestazioni comparative di aero-condensatori per R404A e CO₂ nelle seguenti condizioni: temperatura aria 25°C, condensazione R404A 40°C, pressione CO₂ 100 bar.

Fluido	R404A	CO ₂	CO ₂
Numero ventilatori (8 poli)	3	3	1
area frontale batteria, m ²	5.28	5.28	2.56
numero di ranghi	3	3	6
numero di alimentazioni	66 (std)	22	21
geometria del tubo	3/8"x 0.35 microalettato	5/16"x 1.0 liscio	5/16" x 1.0 liscio
disposizione ventilatori	aspirazione	aspirazione	mandata
temp. uscita dal cooler, a pari potenza (aria a 25°C)	40°C (condensazione)	25.3°C (ΔT=0.3)	28.8°C (ΔT=3.8)
oppure: potenza termica relativa	100 (ΔT=15)	158 (ΔT=3)	96.0 (ΔT=3)

lungo tratti di aletta a contatto con tubi a differente temperatura.

- La prova di resistenza a pressione si svolge in tre fasi: (i) con aria a 30 bar in una vasca d'acqua, per individuare le perdite macroscopiche, (ii) con acqua a 170 bar, (iii) ancora con aria a 30 bar per individuare altre perdite conseguenti a deformazioni causate dalla precedente prova ad alta pressione. Deve seguire una accurata rimozione dell'acqua, eseguita facendo il vuoto all'interno (circa 2 mbar).

I gas cooler per CO₂ possono quindi essere considerati un prodotto pienamente industrializzato e collaudato (fig.4). Ciò è possibile grazie alla tecnologia e alla filosofia progettuale adottata in LU-VE, che consiste nell'utilizzo di superfici di scambio specializzate ad elevate prestazioni e nell'impiego di geometrie miniaturizzate anche per grandi scambiatori (si utilizzano tubi di diametro 3/8" - 9.52 mm - anche per condensatori, dry-coolers o gas coolers lunghi fino a 12.8 m). Questa tecnologia ha permesso di rispondere rapidamente alle esigenze del mercato, sen-

za necessità di ricorrere a particolari tipi di scambiatori (es: con micro-canali in tubi piatti di alluminio) non proponibili per applicazioni nella refrigerazione, potenzialmente molto costosi o comunque non sufficientemente referenziati.

**Giovanni Lozza, Dip.Energetica,
Politecnico di Milano*

***Carlo Perfetti, LU-VE, Uboldo (Va)*

Note

¹ L'emissione specifica di CO₂ delle centrali elettriche varia tra 350 e 800 g/kWh, i valori più bassi per cicli combinati a gas naturale, quelli più alti per centrali convenzionali a carbone.

² Anche nei cicli convenzionali tale temperatura è influente per il COP, ma: (i) solo se si realizza un sottoraffreddamento del liquido in una apposita sezione di scambio termico, (ii) con un'influenza sul valore di COP quantitativamente assai più limitata.

³ Nelle batterie ad aletta continua si possono realizzare disposizioni molto simili a quella controcorrente, a condizione che il numero di ranghi sia superiore a 3-4 e che il numero di tubi disposti in serie sia pari o superiore al numero dei ranghi, ipotesi del tutto realistica in scambiatori ottimizzati per CO₂.

Gas cooler per l'impianto più grande al mondo

LU-VE ha realizzato il gas cooler per il più grande impianto refrigerante al mondo interamente con ciclo transcritico a CO₂

L' SHVDT 696 - CO₂ gas cooler, prodotto per conto di Linde, leader in Europa e uno dei maggiori costruttori internazionali di sistemi di refrigerazione, è in funzione presso il supermercato Coop Tägipark di Wettingen (Zurigo, Svizzera).

Il progetto, unico nel suo campo, è stato studiato e sviluppato dalla LU-VE Spa nell'autunno 2005 in collaborazione con il laboratorio Linde di Colonia. Si tratta del più grande impianto a CO₂ transcritico al mondo.

Dotato di centrali frigorifere per la media e la bassa temperatura (banchi fresco, banchi congelamento e celle frigorifere), dispone di un circuito unico per la parte ad alta pressione, con il gas cooler LU-VE che raffredda l'anidride carbonica compressa a livelli transcritici.

La realizzazione di LU-VE, è il risultato di uno studio complesso, sviluppato in collaborazione con il Politecnico di Milano, che ha comportato l'adozione di soluzioni e scelte tecniche non abituali nel campo della refrigerazione.

►► Informazioni



approfondimento



Le specifiche tecniche dell'SHVDT 696 - CO₂ gas cooler, sono le seguenti:

- potenza 500 kW;
- 12 ventole da 800 mm di diametro;
- 7 m lunghezza x 2,40 m di larghezza x 2,25 m di altezza.

Il gas cooler, punta avanzata della produzione LU-VE, comporta condizioni limite di lavoro, mai applicate prima:

- refrigerazione interamente con ciclo transcritico a CO₂;
- pressione massima di esercizio 120 bar;
- temperatura massima del CO₂ 150°C;
- sistema spray (ad acqua demineralizzata) applicato alle alette;
- garanzia della temperatura di uscita del CO₂ dal gas cooler (non superiore a 30/35°C, in condizioni estive), e quindi elevato coefficiente di efficienza energetica COP (potenza frigorifera/potenza elettrica).

Si tratta del più grande
impianto a CO₂
transcritico al mondo

LU-VE è stata in grado di costruire un prodotto che molti specialisti pensavano fosse impossibile realizzare e far funzionare in maniera eccellente, a causa delle pressioni elevate del CO₂.

Mai prima era stato concepito un impianto simile per dimensioni e complessità.

La realizzazione è stata possibile grazie anche all'impiego delle innovazioni tecnologiche adottate da anni da LU-VE per la costruzione di scambiatori di calore ad elevata efficienza. In questo caso la tecnologia del Gruppo di Uboldo, ha consentito l'impiego per l'SHVDT 696 - CO₂ gas cooler di tubi di rame a diametro ridotto.

approfondimento



A basso impatto ambientale

Caratteristica molto importante dell'impianto equipaggiato dall'SHVDT 696 LU-VE, è il fatto di essere un prodotto a impatto ambientale minimo, grazie all'impiego del CO₂ come fluido frigorifero e dell'utilizzo di componenti altamente selezionati per ottenere risparmio energetico. L'attenzione alle questioni ambientali è stato molto apprezzato dalla catena di supermercati Coop (leader svizzero per i prodotti biologici), da sempre molto sensibile a queste tematiche.

Linde e la catena di grande distribuzione svizzera si sono dette molto soddisfatte dell'impianto e del prodotto fornito da LU-VE. Nell'autunno 2005 è stato con-



segnato un nuovo gas cooler a CO₂ (modello a 10 ventole da 800 mm), destinato sempre alla Linde, che lo installerà presso uno dei supermercati della catena svizzera Aligro.

► presentati da "i quaderni del freddo"

La qualità della vita nella catena del freddo

LU-VE produce scambiatori di calore per i settori della refrigerazione commerciale, refrigerazione industriale e il condizionamento dell'aria

I prodotti LU-VE sono in stretta relazione con la qualità della vita, poiché sono utilizzati nell'ambito della refrigerazione degli alimenti, della climatizzazione, della riduzione di temperatura e umidità: nelle abitazioni, negli ospedali, nei luoghi di lavoro, nei mezzi di trasporto, etc. I segmenti di mercato e i clienti a cui LU-VE si rivolge sono:

- apparecchiature per la refrigerazione costruttori in grande serie di distributori di bevande, conservatori di gelato, macchine per la produzione del ghiaccio, etc.;
- refrigerazione commerciale costruttori e installatori di banchi, celle e vetrine refrigerate;
- refrigerazione industriale installatori di impianti per la grande refrigerazione di ma-



gazzini e apparecchiature industriali;

- condizionamento dell'aria installatori di impianti di condizionamento.

Le tecnologie applicate

LU-VE è stata la prima nel mondo ad applicare alla refrigerazione commerciale e industriale:

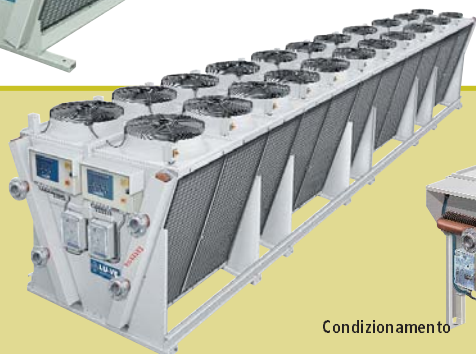
- la tecnologia dei tubi rigati;
- la tecnologia delle superfici di scambio specializzate;
- la certificazione delle prestazioni;
- materiali e colori innovativi;
- design avanzato.

Tali innovazioni hanno generato prodotti ad altissima efficienza che migliorano drasticamente i tradizionali rapporti prestazionali ed economici.

► Cronistoria delle innovazioni LU-VE

Nel dettaglio, ecco riportate le novità introdotte dall'azienda:

- 1961 - Sbrinamento elettrico
- 1965 - Doppio passo alette
- 1967 - Aeroevaporatori con turbolenziatore esterno e interno
- 1969 - Alupaint (sistema protezione alette alluminio)
- 1971 - STF (condensatori con tubi ovali)
- 1988 - Aeroevaporatori HITEC® con TURBOCOIL® (tubi con rigatura interna elicoidale e aletta TURBOFIN®)
- 1991 - Condensatori HITEC® (tubi con rigatura interna elicoidale e alette "louvered")
- 1997 - Aeroevaporatori SUPERHITEC® con TURBOCOIL® (tubi con rigatura interna elicoidale e aletta TURBOFIN®2)
- 1999 - SAFETUBES SYSTEM® (protezione tubi condensatori e raffreddatori di liquido)
- 2001 - JET-O-MATIC® (nuovo distributore del refrigerante negli aeroevaporatori)
- 2001 - GAMMA BENEFIT® (aeroevaporatori e condensatori a basso consumo di energia)
- 2003 - WET and DRY (raffreddatori di liquido di grande potenza)



Condizionamento



Prestazioni durante la formazione di brina

di Umberto Merlo

Le ricerche eseguite hanno permesso, sia di confermare le prestazioni degli aeroevaporatori a "secco", sia di valutare e paragonare le diverse soluzioni costruttive con aeroevaporatori brinati, in termini di rapporto tra costo effettivo di esercizio ed energia frigorifera sottratta all'ambiente (cella frigorifera)

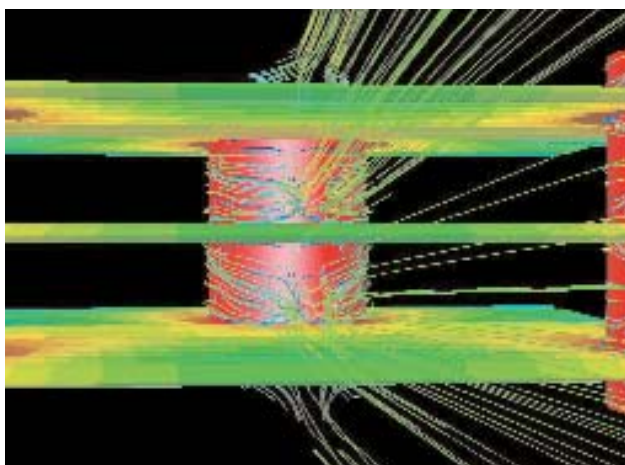
Nel 2005 LU-VE ha introdotto sul mercato gli aeroevaporatori industriali CHS e LHS ad aletta intagliata. La nuova serie è caratterizzata da una grande vastità di modelli e di varianti costruttive, in grado di soddisfare tutte le esigenze dei costruttori di impianti frigoriferi industriali. I test e le prove, condotti presso i laboratori di ricerca e sviluppo di LU-VE, su numerosi modelli di questa nuova serie, hanno portato a risultati molto interessanti, in particolare riguardo alle prestazioni durante la formazione di brina (decadimento della potenza frigorifera nel tempo). Le ricerche eseguite hanno permesso, sia di confermare le prestazioni degli aeroevaporatori a "secco", sia di valutare e paragonare le diverse soluzioni costruttive con aeroevaporatori brinati, in termini di rapporto tra costo effettivo di esercizio ed energia frigorifera sottratta all'ambiente (cella frigorifera).

In particolare abbiamo analizzato due tipi di confronti:

►► Informazioni



approfondimento



- A.** Il primo relativo a due aereoevaporatori aventi stessa potenza frigorifera, stesso ventilatore, stessa area frontale, stesso numero di ranghi, stesso passo alette, ma con superfici esterne una il doppio dell'altra.
- B.** Il secondo invece, relativo a due aereoevaporatori aventi la stessa potenza frigorifera, stessa area frontale, stesso numero di ranghi, stesso passo alette, stessa superficie esterna, ma una intagliata e l'altra tradizionale ondulata.



Modalità e parametri di prova

Le prove sperimentali sono state condotte in camera calorimetrica nelle seguenti condizioni operative:

- temperatura della camera -15°C ;
- temperatura di evaporazione -25°C ;
- umidità relativa 85-90%;
- surriscaldamento da valvola termostatica $6-7^{\circ}\text{C}$.

Il processo di brinatura è stato condotto in maniera continua, senza fermata dei compressori, mantenendo costanti i parametri sopra elencati. La durata di funzionamento dell'aereoevaporatore è definita dalla variazione di potenza frigorifera dal 100% (apparecchio pulito) fino al 70%, vale a dire un decadimento di potenza del 30%. Dopodiché, l'aereoevaporatore è stato sbrinato con resistenze elettriche, misurandone il tempo di sbrinamento (escluso il tempo di sgocciolamento). Al termine dell'operazione è stata quantificata l'acqua di sbrinamento, in modo da poter calcolare l'efficienza dello sbrinamento stesso, definita come il rapporto tra il calore necessario per riscaldare i metalli (rame e alluminio), per sciogliere la brina e quello immesso tramite resistenze elettriche. Per completare il bilancio energetico della camera calorimetrica, ab-

approfondimento



I moderni aereoevaporatori

di Ennio Macchi, professore di "Conversione energetica", Politecnico di Milano

Poniamo l'attenzione sulle scelte progettuali che hanno caratterizzato la nuova linea di aereoevaporatori industriali della Società LU-VE, focalizzando l'attenzione sugli aspetti energetici e gestionali. Vanno considerate prima di tutto le ottimizzazioni termofluidodinamiche che hanno condotto alla scelta delle geometrie delle matrici di scambio termico, condotte adottando un approccio progettuale misto, basato sia sull'utilizzazione di metodologie di calcolo CFD (Computational Fluid Dynamics), sia su una serie di sperimentazioni: dapprima in aria secca su batterie campione alimentate ad acqua calda, poi su apparecchi prototipali alimentati con refrigerante in camera termostatica. Una volta caratterizzate e validate le prestazioni termofluidodinamiche delle matrici di scambio termico (si è optato per due diverse geometrie, una particolarmente compatta ed efficiente, l'altra con superfici di scambio estese), è stato possibile, con opportune metodologie di simulazione, derivare le prestazioni nominali dell'intera serie (molte centinaia) di apparecchi che si ottengono al variare dei passi delle alettature, delle dimensioni del pacco alettato (numero tubi e ranghi, lunghezza alettato), dei ventilatori. L'accuratezza della procedura è confermata dalle successive prove di certificazione. Grande importanza è stata data inoltre all'analisi dell'influenza della formazione di brina sulle superfici di scambio sulle prestazioni degli apparecchi. L'approccio sperimentale adottato per caratterizzare il funzionamento

Confronto A

Confronto energetico		LU-VE		LU-VE
Modelli		CS64H3404E10	Delta	LS64H7404E10
potenza frigo DT1=10K	W	29120	1,14	33120
tempo funzionamento	h	12,0		22,0
energia frigo	Wh	297024	2,09	619344
pot vent	W	2600,0		2600,0
energia vent	Wh	31200	1,83	57200
potenza resis	W	15700		27770
energia resist	Wh	7850	1,77	13885
tempo sbrin	h	0,50		0,50
rendim sbrin	%	0,50		0,65
energia utile a ciclo	Wh	261899		557284
cicli giorno		1,9		1,1
energia utile giornaliera	Wh	502846		594437
energia utile annuale	kWh	183539	1,18	216969
Confronto economico				
COP		2,0		2,0
Consumo elettrico a ciclo	kWh	189,5	2,02	383,2
costo energia	€/kWh	0,1		0,1
costo esercizio a ciclo	€/ciclo	19,0		38,3
tempo ciclo	h	12,5		22,5
cicli anno		700,8		389,3
costo esercizio annuale	€/anno	13282	1,12	14919
costo esercizio/energia utile	€/kWh	0,072	0,95	0,069
Informazioni aggiuntive	dati di catalogo			
Geometria		55x27.5		55x55
Portata aria	m³/h	16200		16300
Superficie esterna	m²	81,5		159,9
NT/NR		18/12		18/12
Passo alette	mm	10		10,0
Volume interno	dm³	36		36
Freccia d'aria	m	55		55
Peso	Kg	260		331
AFO	m²	1,188		1,188
Velocità aria frontale	m/s	3,79		3,81

biamo rilevato anche gli assorbimenti elettrici del ventilatore montato sull'aereoevaporatore.

Risultati dell'analisi

Inizialmente sono stati definiti tutti i parametri caratteristici di funzionamento di un aereoevaporatore:

- potenza frigorifera in condizioni a "secco";
- tempo di funzionamento continuo;
- potenza assorbita del ventilatore;
- potenza resistenze di sbrinamento;
- tempo e rendimento di sbrinamento.

Successivamente è stato ipotizzato un COP=2,0, con un costo dell'energia elettrica pari a 0,1 €/kWh, infine è stato effettuato il confronto energetico ed economico d'esercizio delle quattro configurazio-



ni sopra citate. Per maggior chiarezza si veda il Grafico 1 schematico rappresentativo del ciclo di funzionamento dei due aereoevaporatori, uno della serie CHS e l'altro della serie LHS (confronto indicato con A). In particolare, i valori di potenza frigorifera (dal 100% al 70%), potenza assorbita dai ventilatori (9% CHS e 8% LHS) e la potenza di sbrinamento (54% CHS e 84% LHS) sono stati adimensionalizzati in forma percentuale, prendendo come riferimento la potenza frigorifera ad apparecchio pulito (100%). Lo schema base del ciclo di funzionamento del Confronto B è analogo a quello del Confronto A per quanto riguarda il decadimento di potenza frigorifera (dal 100% al 70%), mentre differisce in termini di potenza assorbita dai ventilatori (7% LU-VE e 11% altro costruttore) e di potenza elettrica di sbrinamento (65% LU-VE e

approfondimento



➤ SEGUE DA PAGINA 17

degli aereoevaporatori nelle condizioni reali di funzionamento è stato impostato misurando in continuo il decadimento delle prestazioni conseguente alla formazione di brina sulle superfici di scambio termico.

La grande mole di dati sperimentali ottenuti consente di ricavare insegnamenti utili a correlare le caratteristiche della geometria di scambio e gli effetti della brina.

Utilizzando quindi opportune tecniche di simulazione, si possono analizzare gli effetti delle caratteristiche della superficie di scambio (rapporto superficie secondaria/primaria, passo delle alette) e delle condizioni operative (temperatura e umidità dell'aria di cella, velocità di attraversamento nella batteria), in termini energetici. Estendendo le simulazioni su base annua, è possibile ricavare bilanci energetici completi, riferiti sia ai consumi propri dell'aereoevaporatore (elettroventilatori, resistenze di sbrinamento) sia agli altri componenti del ciclo frigorifero (compressore e aereocondensatore).

I risultati dimostrano come la possibilità di scegliere fra le due tipologie di apparecchi: compatti, a minor costo specifico di investimento e a superficie estesa, con possibilità di aumentare l'intervallo temporale fra due sbrinamenti successivi, offre importanti vantaggi all'utilizzatore, che può razionalizzare le sue scelte in base alle specifiche applicazioni.

*Relazione presentata
al convegno
"La Giornata del Freddo"
3 marzo 2006
35ª edizione Mostra
Convegno Expocomfort*



Confronto B

Confronto energetico		LU-VE		Altri costruttori
Modelli		LS50H5800E7	Delta	—
potenza frigo DT1=10K	W	11800	0,93	10950
tempo funzionamento	h	12,0		10,5
energia frigo	Wh	120360	0,81	97729
pot vent	W	780,0		1140,0
energia vent	Wh	9360	1,28	11970
potenza resis	W	7630		8260
energia resist	Wh	3815	1,08	4130
tempo sbrin	h	0,50		0,50
rendim sbrin	%	0,50		0,50
energia utile a ciclo	Wh	109093		83694
cicli giorno		1,9		2,2
energia utile giornaliera	Wh	209458		182605
energia utile annuale	kWh	76452	0,87	66651
Confronto economico				
COP		2,0		2,0
Consumo elettrico a ciclo	kWh	74,3	0,89	66,0
costo energia	€/kWh	0,1		0,1
costo esercizio a ciclo	€/ciclo	7,4		6,6
tempo ciclo	h	12,5		11,0
cicli anno		700,8		796,4
costo esercizio annuale	€/anno	5208	1,01	5256
costo esercizio/energia utile	€/kWh	0,068	1,16	0,079
Informazioni aggiuntive		dati di catalogo		
Geometria		55x55		50x50
Portata aria	m³/h	8100		7670
Superficie esterna	m²	54,3		54,0
NT/NR		14/6		12/6
Passo alette	mm	7,5		7,0
Volume interno	dm³	10		13
Freccia d'aria	m	35		18
Peso	Kg	158		121
AFO	m²	0,616		0,624
Velocità aria frontale	m/s	3,65		3,41

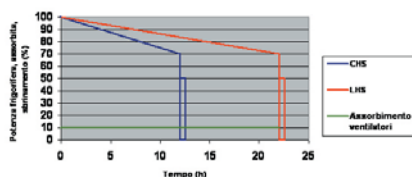
75% altro costruttore). Nelle pagine precedenti sono state riportate le tabelle che riassumono schematicamente i due confronti A e B, in cui i valori dell'energia utile (frigorifera), del costo d'esercizio e il loro rapporto sono evidenziati in colore giallo. I confronti sono eseguiti su base annua, considerando un funzionamento continuo di 24 ore/giorno e 365 giorni/anno, per un totale di 8760 ore/anno. Inoltre si è trascurato l'incremento di potenza assorbita dei ventilatori durante il processo di brinatura. L'energia frigorifera è stata calcolata integrando la curva di decadimento della potenza frigorifera rispetto al tempo di funzionamento.

Conclusioni

Analizzando il Confronto A (vedi tabella) si evince che i due aereoevaporatori in oggetto, aventi come differenza la sola superficie esterna, hanno un rapporto costo/beneficio prossimo all'unità (0,95). Il che significa che l'unico vantaggio nell'avere una superficie doppia, è che il tempo di funzionamento tra uno sbrinamento e quello successivo si allunga di circa il doppio. Lo stesso rapporto costo/beneficio è dovuto al fatto che, dopo ogni sbrinamento dell'aereoevaporatore con superficie ridotta (cadenza di sbrinamento più alta), esso riparte alla massima potenza frigorifera, mentre l'altro continua a funzionare con potenza notevolmente più bassa. Da notare infine, che l'aereoevaporatore con maggiore superficie possiede peso, ingombro, costo della potenza elettrica "impegnata" e prezzo maggiori. Analizzando invece il secondo Confronto B (vedi tabella) si ricava un'altra im-

Grafico 1

Ciclo di funzionamento dei due aereoevaporatori serie CHS-LHS



portante informazione. A parità di superficie esterna - una intagliata e l'altra ondulata tradizionale - il risultato finale, in termini di costo/beneficio, è fortemente influenzato dalla forma della curva caratteristica del gruppo ventilante, dal suo rendimento areaulico e non dal tipo di superficie. Il confronto risulta più vantaggioso - in termini di costo/beneficio - del 16% per l'aereoevaporatore LU-VE (minor costo di esercizio a pari energia frigorifera utile), in quanto possiede una curva caratteristica del ventilatore più "verticale" (cioè minor riduzione di portata d'aria all'incrementare delle perdite di carico, dovute alla formazione di brina sulla superficie alettata), e anche un miglior rendimento areaulico, cioè a dire minori assorbimenti elettrici a pari potenza di pompaggio. In altre parole, durante il processo di formazione di brina sulla superficie alettata di un aereoevaporatore, la perdita di potenza frigorifera è dovuta in primo luogo alla riduzione di portata d'aria causata dall'aumento della resistenza al flusso di aria che attraversa le alette brinate e in secondo luogo all'aumento di resistenza termica tra il fluido esterno (aria) e il fluido interno (refrigerante). Quindi, utilizzando un ventilatore avente una curva caratteristica (portata-prevalenza) poco sensibile alla variazione delle perdite di carico, si riesce a mantenere pressoché costante la portata d'aria e contenendo quindi, la riduzione di potenza frigorifera.

*Ing. Umberto Merlo - Laboratorio Ricerca
& Sviluppo LU-VE, Uboldo (Va)*



LU-VE: 1986-2006

I primi 20 anni

L'azienda sintetizza l'esperienza e la tradizione che vengono dal passato, in combinazione con l'entusiasmo e la creatività rivolti al futuro

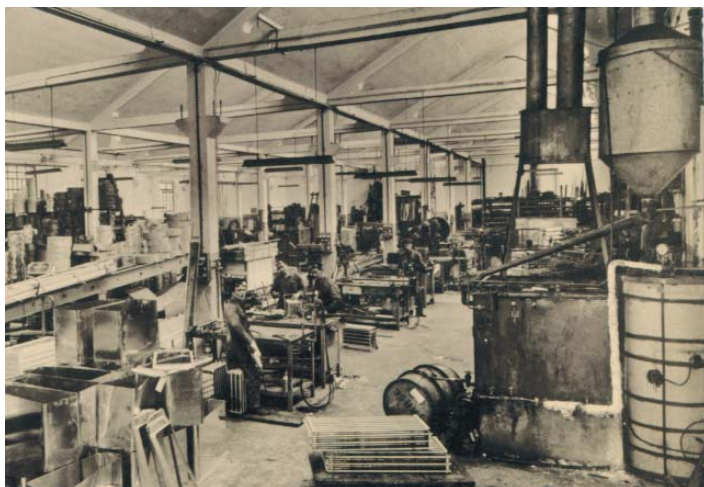
La storia di LU-VE, che nel 2006 celebra i suoi primi 20 anni, affonda le sue radici nella Contardo spa, che nasce come azienda familiare nel 1928. Storicamente all'avanguardia, la Contardo vantava una posizione di primato in Europa e aveva stabilimenti in Italia, Spagna e Norvegia, nonché una rete commerciale molto forte sia in Italia sia in Europa.

Il successo della Contardo era dovuto alla ricerca e allo studio delle tecnologie di prodotto e di produzione avanzate, che ne avevano fatto uno dei leader di settore.

Nel 1986, nasce LU-VE Spa, la quale acquisisce Contardo Spa, in fase di liquidazione. LU-VE ne eredita la tradizione e rilancia la politica di ricerca e sviluppo, di innovazione tecnica e di attenzione all'ambiente, basandosi su due elementi fondati:

- elevati standard qualitativi dei prodotti;
- particolare cura della qualità estetica.

Ora l'azienda sintetizza l'esperienza e la tradizione che vengono dal pas-



Primo stabilimento della Contardo Spa



Sede LU-VE
di Uboldo (Va)

sato, in combinazione con l'entusiasmo e la creatività rivolti al futuro.

Proprio in quest'ottica, fin dal 1986, LU-VE ha dato vita a un legame permanente con alcune prestigiose Università europee e italiane, in particolare con il Politecnico di Milano.

“Il futuro ha un cuore antico”
(Carlo Levi)

La propensione all'innovazione e alla ricerca ha consentito a LU-VE di valorizzare e soprattutto di accrescere il proprio patrimonio di conoscenze, av-

valendosi del sostegno di specialisti accademici di grande livello, impegnati nello studio e nell'applicazione di nuove idee, sia nel campo degli scambiatori di calore per la refrigerazione commerciale e industriale, sia in quello del grande condizionamento.

L'attività

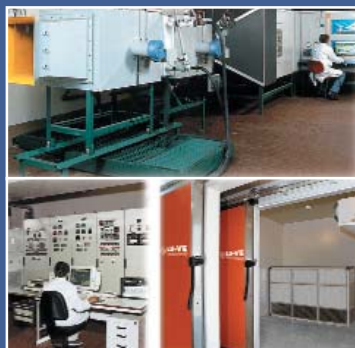
LU-VE opera in un settore importante della cosiddetta “catena del freddo”, la quale è costituita dalle strutture che servono a refrigerare/conservare i prodotti alimentari:

- subito dopo la raccolta, la pesca, etc.;
- subito dopo la lavorazione negli stabilimenti;

Come è strutturata?

LU-VE S.p.A. controlla il Gruppo LU-VE, un insieme di aziende che operano nel settore degli scambiatori di calore. Il Gruppo LU-VE è composto da sette aziende produttive di cui l'ultima nata è la sede in Russia che entrerà in produzione dal mese di ottobre 2006, e sette filiali commerciali:

- 850 collaboratori qualificati;
- 210.000 mq di superficie totale;
- 90.000 mq di superficie coperta,
- 1.000 mq di laboratori di ricerca e sviluppo;
- quasi 140 milioni di euro di fatturato aggregato,
- 70% della produzione esportata in 90 paesi.



- per immagazzinarli e/o trasferirli presso i centri di distribuzione dove sono di nuovo stoccati per la loro conservazione. LU-VE partecipa a tutta la catena perché fornisce componenti importanti (condensatori ed evaporatori) per le macchine che producono il freddo, nel corso dei vari passaggi della catena stessa.

I prodotti LU-VE hanno funzioni diverse:

- abbassare la temperatura nel luogo da raffreddare, tramite gli evaporatori;
- disperdere all'esterno il calore sottratto all'ambiente refrigerato, tramite i condensatori.

Evaporatori e condensatori sono complementari tra loro e servono a creare la temperatura adatta alla surgelazione o alla conservazione delle derrate durante l'immagazzinamento, il trasporto e l'e-

sposizione nei luoghi di vendita (negozi, supermercati, etc.) oppure all'interno dei raffreddatori di bevande (distributori di bibite etc.). LU-VE lavora a fa-

Il Gruppo LU-VE costruisce complessivamente oltre 1,7 milioni di prodotti di scambio termico all'anno (circa 7.400 al giorno); di cui 328.000 prodotti ventilati (circa 1.400 al giorno)

vore del benessere delle persone, poiché la conservazione di cibi, bevande e farmaci è fondamentale per evitare malattie, per preservare vaccini e medicine e, più in generale, per trasferire nel tempo e nello spazio le derrate alimentari, in con-

Sette sono le aziende produttive del Gruppo:

- **LU-VE S.p.A. - Uboldo (Va), Italia**
Scambiatori di calore per la refrigerazione, il condizionamento dell'aria e le applicazioni industriali.
- **TECNAIR LB Srl - Uboldo (Va), Italia**
Produzione di condizionatori di precisione per sale chirurgiche, centri di calcolo e telefonia.
- **SEST S.p.A. - Limana (Bl), Italia**
Evaporatori statici per banchi e vetrine refrigerate.
- **SEST LU-VE POLSKA - Gliwice, Polonia**
Evaporatori statici per banchi e vetrine refrigerate.
- **HTS - Novosiedly, Rep. Ceca**
Scambiatori di calore per applicazioni speciali e per il settore del condizionamento.
- **SHANGHAI CENTURY EQUIP. Co. Ltd. - Shanghai, Cina**
Joint venture con LU-VE, per l'assemblaggio di evaporatori commerciali prodotti in Italia e destinati al solo mercato cinese.
- **"OOO SEST LU-VE" di Lipetsk, Russia**
La nuova società del Gruppo, che inizierà a produrre entro la fine del 2006. Lo stabilimento costruirà evaporatori statici per la refrigerazione commerciale e il condizionamento destinati al mercato russo

Sette le aziende destinate alla commercializzazione dei prodotti, dislocate in diverse aree del mondo:

- **LU-VE Contardo France - Lione, Francia**
- **LU-VE Contardo Deutschland GmbH - Stoccarda, Germania**
- **LU-VE Contardo Iberica S.L. - Madrid, Spagna**
- **LU-VE Contardo UK-EIRE Office - Fareham, Regno Unito**
- **LU-VE Contardo Office - Mosca, Russia**
- **LU-VE Contardo Caribe S.A. - San Josè, Costa Rica**
- **LU-VE Pacific Pty. Ltd. - Thomastown (Victoria), Australia**



dizioni di sicurezza sanitaria. Per capire il valore e l'importanza della "catena del freddo" basta considerare le condizioni alimentari e igieniche in quei paesi in cui essa non è stata che ancora costruita.

Le certificazioni

Nel 2000, LU-VE è stata la prima azienda in Europa a ottenere la allora nuova importante certificazione "Certify All" della Eurovent, per tutta la gamma di condensatori, dry cooler e aerorefrigeratori. Tale sistema di certificazione assicura al progettista, all'installatore e all'utente finale un'ulteriore garanzia di aver scelto componenti idonei a impianti di refrigerazione e condizionamento qualificati, in grado di assicurare condizioni operative ottimali e costi minimi, per tutto il ciclo di vita dell'impianto

"Milano Finanza" ha pubblicato uno studio condotto su 1.500 aziende industriali e di servizi, che assumono di più in Italia (periodo 2003/2004). LU-VE è tra le 230 aziende selezionate, inclusa nelle prime 45 per la categoria di fatturato tra i 200 e 100 milioni di euro
26 novembre 2005, su dati Mediobanca

stesso. La certificazione Eurovent garantisce che i prodotti messi in vendita sul mercato sono presentati in modo corretto. Inoltre Eurovent verifica tutte le informazioni riportate sui cataloghi quali:

- potenze;
- portate d'aria;
- consumi di energia;
- livelli sonori;
- superfici di scambio.

In seguito ai risultati positivi della ripetizione annuale dei test, nel 2006, LU-VE ha ottenuto, per la quinta volta consecutiva, la convalida della certificazione "Certify All" di Eurovent, dopo che aerorefrigeratori, condensatori e dry cooler LU-VE hanno brillantemente



Vista interna stabilimento LU-VE

superato tutte le verifiche e le prove di laboratorio previste Eurovent. LU-VE è un'azienda certificata in base alle norme ISO 9001 e Vision 2000.

La filosofia aziendale

Il principio che sta alla base della filosofia industriale del Gruppo LU-VE è "la materia grigia è la nostra materia prima". Dal 1928, LU-VE Contardo è sintesi di esperienza e tradizione e di una tensione permanente verso il futuro e l'innovazione, nel settore degli scambiatori di calore. La filosofia di LU-VE è l'applicazione del principio che le aziende sono, prima di tutto, donne, uomini e idee. LU-VE ha introdotto un modo nuovo di concepire e realizzare i prodotti della refrigerazione e del condizionamento, rinnovando l'intera gamma secondo nuove tecnologie che sono diventate un riferimento costante per tutto il settore.

Il Gruppo intende offrire ai clienti e agli utenti finali una prestazione "su misura" che soddisfi completamente le loro necessità minimizzando gli ingombri, il consumo di energia, la rumorosità e la somma totale dei costi del ciclo di vita dell'impianto e delle apparecchiature (acquisto, installazione, manutenzione e conduzione) nel rispetto dei principi fondamentali di salvaguardia dell'ambiente.

"I più belli dei nostri giorni non li abbiamo ancora vissuti" (Nazim Hikmet)

www.luve.it

► presentati da "i quaderni del freddo"

Company profiles

TECNAIR LB

SEST Limana

SEST LU-VE Polska

HTS

**TECNAIR LB,
SEST Limana,
SEST LU-VE Polska e
HTS,
pur in ambiti differenti,
fanno tutte parte
del Gruppo LU-VE**



Come anticipato nell'articolo "LU-VE: 1986-2006", il Gruppo LU-VE è attualmente composto da sette aziende produttive e sette filiali commerciali che operano nel settore degli scambiatori di calore.

- TECNAIR LB
 - SEST Limana;
 - SEST LU-VE Polska;
 - "000 SEST LU-VE" Russia;
 - HTS;
- pur in ambiti differenti, fanno tutte parte del Gruppo.



Sistemi e componenti per lo scambio termico

TECNAIR LB Srl

TECNAIR LB Srl è un'azienda altamente specializzata nel settore del "Close contro air conditioning". TECNAIR LB è tra i leader di mercato nell'ambito della produzione di condizionatori d'aria di precisione per sale operatorie, camere bianche e laboratori (Lifeline), centri di calcolo e centrali telefoniche (Techline), e in generale per qualsiasi applicazione che richieda il mantenimento di determinate condizioni di temperatura e di umidità. Inoltre, accanto a questa produzione, TECNAIR LB commercializza i condensatori ad aria e i raffreddatori di liquido, costruiti dalla LU-VE S.p.A. L'approfondita ricerca operata nei laboratori del Gruppo LU-VE, in col-

laborazione con autorevoli docenti della Facoltà di Ingegneria Energetica del Politecnico di Milano e la completa gamma di accessori, rendono i condizionatori della TECNAIR LB la soluzione più avanzata per il condizionamento di precisione.

La produzione è effettuata in un moderno stabilimento, situato alle porte di Milano su di un'area di oltre 40.000 metri quadrati, il cui Sistema di Qualità è certificato in base alle norme ISO 9001.

In particolare, la gamma "Lifeline" TECNAIR LB si rivolge specificamente al settore ospedaliero, alle cliniche e a tutti quegli ambienti della sanità in generale. I condizionatori dedicati alle sale operatorie, prodotti in conformità alla norma tedesca DIN

1946/4, sono certificati e monitorati dall'agenzia tedesca TÜV. Della gamma fanno anche parte i soffitti filtranti unidirezionali, in grado di garantire la massima decontaminazione dell'aria (e quindi un maggiore protezione della ferita operatoria).

La gamma "Cleanline" TECNAIR LB presenta sistemi dedicati a laboratori, camere bianche, farmaceutica, piccole sale chirurgiche e tutti quegli ambienti dove il controllo di temperatura e umidità è importantissimo, ma dove non sono richieste le caratteristiche di perfetta tenuta all'aria.

Con "Techline" TECNAIR LB rafforza la sua leadership nel settore del "Close Control air conditioning" classico: per centrali telefoniche, centri elaborazione



mce
mostra convegno
expocomfort

**LU-VE,
TECNAIR LB
e HTS**
saranno presenti
alla 35ª edizione di
**Mostra Convegno
ExpoComfort**
Hall 24 - Stand E 17/G 18

Sistemi e componenti per lo scambio termico

dati, centri commerciali, showroom, centri commerciali.

SEST Limana

SEST LU-VE Polska

"OOO SEST LU-VE" Russia

SEST SpA è l'azienda leader europea nella produzione di batterie alettate di scambio termico per i settori della refrigerazione commerciale e del condizionamento. Fondata nel 1974, come fornitrice di una primaria azienda di ban- chi frigoriferi, in oltre 30 anni ha avuto un'espansione note-

vole che l'ha vista, partendo da dimensioni ridottissime, diventare una grande azienda che oggi conta due stabilimenti produttivi: il principale in Italia a Limana (BL) e un secondo in Polonia (SEST LU-VE Polska, di Gliwice). Attualmente il gruppo SEST conta circa 400 persone e un fatturato consolidato di oltre 33 milioni di euro.

La nuova sfida è l'apertura di un nuovo stabilimento produttivo a Lipetsk in Russia: la "OOO SEST LU-VE", nuova società del

Gruppo LU-VE, che inizierà a produrre entro la fine del 2006. L'impianto costruirà evaporatori statici per la refrigerazione commerciale e il condizionamento, destinati al mercato russo.

Prodotto di punta dell'azienda sono le batterie, in particolare le batterie alettate di scambio termico. Per migliorare le prestazioni della propria gamma produttiva, l'azienda dal giugno 2002 ha convertito l'impianto di verniciatura da anafresi a catafore-

si, una tecnologia che negli ultimi anni si è molto evoluta tanto da essere attualmente preferita all'anafresi anche nel settore dell'industria automobilistica.

Il differente meccanismo di verniciatura tra le due tecnologie e, di conseguenza le tipologie diverse di resine utilizzate, acrilica per l'anafresi, epossidica per l'altra, conferisce ai manufatti verniciati con i due sistemi caratteristiche molto diverse. La Cataforesi viene utilizzata in tutte le applicazioni in cui sia richiesta un'alta resistenza alla corrosione, in par-

ticolare agli acidi organici, e un'alta penetrazione e copertura anche in presenza di angoli e sottosquadri.

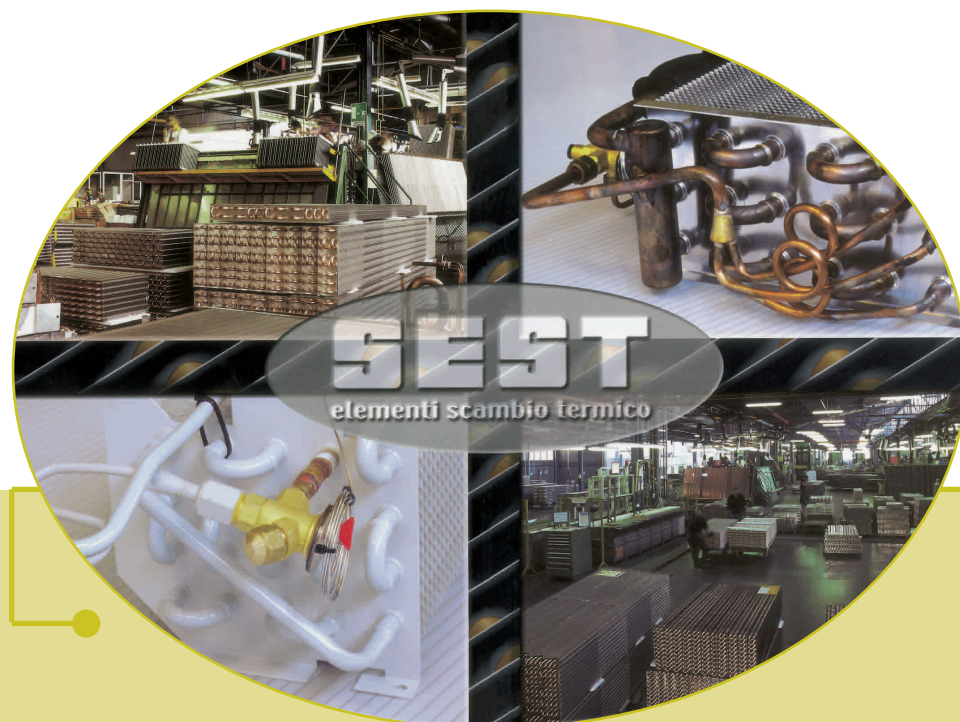
HTS

Con sede a Novosedly, nella Repubblica Ceca, al confine con l'Austria, HTS, Heat Transfer System è specializzata nella produzione di scambiatori di calore per applicazioni speciali e per il settore del condizionamento. Lo stabilimento, che copre una superficie di circa 20.000 m², realizza più di 300.000 prodotti al-

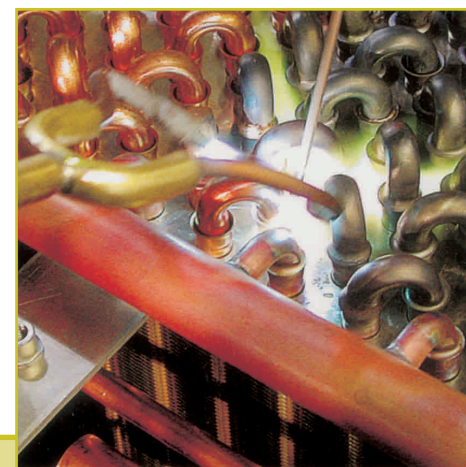
l'anno su otto linee di produzione, tutti controllati e testati secondo le norme ISO.

Grazie all'integrazione con il Gruppo LU-VE, l'azienda ceca è in grado di realizzare soluzioni su misura anche su larga scala.

Per quanto riguarda le applicazioni mobili, gli scambiatori di calore trovano utilizzo negli impianti di condizionamento di treni, autobus e tram, in applicazioni di trattamento o condizionamento aria e in tecnologie di raffreddamento per l'industria alimentare.



Sistemi e componenti per lo scambio termico



Sistemi e componenti per lo scambio termico