

# ENERGIA TERMICA E PROCESSI INDUSTRIALI

Valter Biolchi





# ENERGIA TERMICA E PROCESSI INDUSTRIALI

## INDICE

|   |     |
|---|-----|
| INTRODUZIONE  | 5   |
| PRIMA DI INIZIARE   | 9   |
| DISSIPARE, RAFFREDDARE, RISCALDARE,<br>RECUPERARE, TERMOREGOLARE. | 12  |
| MACCHINE TERMICHE (glossary)                                      | 14  |
| DETERMINAZIONE DEL CARICO TERMICO                                 | 27  |
| SCELTA DELLA MACCHINA TERMICA<br>E RELATIVA TIPOLOGIA             | 33  |
| CASE HISTORY  | 109 |
| CONCLUSIONI   | 163 |



# INTRODUZIONE

Questo libro non vuole essere un trattato tecnico o un manuale carico di regole e formule, per quello esistono tantissimi testi sicuramente più qualificati o decisamente votati a tale scopo. In queste pagine vorrei raccogliere una serie di esperienze pratiche, legate ai problemi inerenti l'energia termica, nei vari processi industriali incontrati durante il mio lavoro.

Dotazione fondamentale per trovare la corretta soluzione sono una flessibilità che permetta di adeguarsi alle varie situazioni e un team di lavoro estremamente valido.

Ritengo che non ci sia limite all'apprendimento e mi ritengo pertanto molto fortunato in quanto nell'attività che porto avanti con il mio gruppo di collaboratori, posso confrontarmi con tantissimi problemi di diversa natura proposti dai clienti, nell'ambito del raffreddamento, del riscaldamento, della termoregolazione dei processi industriali, maturando sul campo una naturale propensione alla loro risoluzione, affrontandoli tecnicamente, a volte anche con un pizzico di fantasia, quando le classiche regole non sono applicabili in quanto non si hanno esperienze di casi simili.

Sicuramente ha rivestito un ruolo importante in tutto questo la formazione di base, conseguita in un istituto tecnico, dove il caso ha voluto che trovassi un professore di matematica che ci insegnò a ragionare, senza imparare pedissequamente a memoria formule e teoremi, ma a capire perché funzionavano... e questo mi ha sempre aiutato poi anche nel mio lavoro. Si trattava di una scuola serale, mentre il giorno lavoravo, connubio che mi permetteva di vedere applicato già in pratica nel mondo del lavoro quanto stavo studiando a livello teorico.

In seguito, ho proseguito gli studi in età avanzata, concludendo il percorso di laurea in ingegneria industriale nel 2011... meglio tardi che mai!

E proprio questa formazione, segnata da un continuo interscambio tra studio e pratica diretta, mi ha portato oggi e negli anni ad affrontare con ragionamento i vari problemi che i clienti ci pongono, e che affrontiamo ogni giorno con il supporto di un ottimo team di lavoro, cercando sempre la soluzione più semplice ed efficace, alla ricerca dell'eccellenza.

In questo manuale troverete comunque di certo delle parti più teoriche, ma in un ambito tecnico è inevitabile doversi confrontare con alcune definizioni e formule, per meglio capire come risolvere i problemi che si presentano.

Infine, prima di inoltrarmi nella trattazione vera e propria, due parole sul perché un libro e perché proprio questo libro.

Come ho scritto nell'introduzione al blog che da alcuni anni curo su questi temi:

*“Girando per la rete, ho visto centinaia di blog, newsletter, mailinglist, ma mai ho trovato qualche cosa che si riferisse direttamente all’energia termica.*

*Sì, certo, se cerco su qualsiasi motore di ricerca, trovo centinaia di siti che parlano di energie alternative, in modo più o meno approfondito, professionale o sommario, ma nulla, assolutamente nulla (o poco di più) che parli dell’energia di secondo livello (come mi piace chiamarla, con una sorta di neologismo tecnico), ovvero di tutti quei metodi e sistemi che servono per trasmettere, diffondere, trasferire l’energia (termica o altro) ai vari processi industriali, utilizzando scambiatori di calore, refrigeratori e torri evaporative. Sicuramente è interessante e importante capire e parlare di come si produce o si può produrre energia in modo ecologico e pulito, ma questa energia come viene poi sfruttata? Esistono metodi migliori o peggiori, o ‘semplicemente più semplici’, per avere questa energia a disposizione, rispetto a quanto già utilizziamo.*

*Qui ci riproponiamo allora di parlare di energia al secondo o terzo livello...”*

E su questo concetto di energia di secondo o terzo livello, è opportuno spendere due parole prima di proseguire: le centrali elettriche, di cogenerazione, termiche, forniscono quella che possiamo chiamare energia di primo livello, ovvero trasformano il lavoro meccanico, termico, idraulico, in energia (termica, elettrica, meccanica).

Tutto quello che viene dopo, lo intendo come energia di secondo livello, in quanto utilizza una energia ‘creata’ per

essere trasformata in quanto serve al processo produttivo o all'utenza che deve utilizzarla.

Provo a fare una descrizione: un gruppo frigorifero utilizza energia elettrica (di primo livello) per trasformarla in energia termica (secondo livello). Uno scambiatore di calore che 'trasporta' questa energia a una temperatura diversa, la sta spostando ad un terzo livello.

Ovviamente, più saliamo di livello, più perdiamo energia, quindi più rimaniamo vicini al primo livello, maggiore sarà l'efficienza del sistema. Questo concetto, che è chiarissimo e inconfutabile (pensiamo alle perdite di efficienza dovute al rendimento delle macchine termiche in sé), non è sempre ben chiaro agli utenti.

E' evidente che utilizzando macchine termiche a elevata efficienza, è possibile limitare le perdite di energia anche spostandomi di livello, incrementando l'efficienza energetica.

Ebbene, chiarito meglio questo concetto, e tornando al blog, dopo aver scritto centinaia di articoli, ho sentito la necessità di trasporre anche su carta stampata i medesimi concetti, magari in forma meno 'blogger' e più manualistica: quello che sicuramente non manca è tutta la passione per questa 'mission', anche se preferisco chiamarla 'lavoro'

# PRIMA DI INIZIARE

Due definizioni, giusto per capirci...

Calore e temperatura, due concetti cardine.

Credo che chiunque prenda in mano questo libro, avrà le idee ben chiare su quello che sto per dire, ma visto che ho pensato di scrivere questo testo anche per chi magari ha una preparazione tecnica meno ferrata, mi lancio in questa descrizione.

Con l'aiuto di Wikipedia:

*In fisica, in particolare in termodinamica, il calore è un'entità che descrive un passaggio di energia, il trasferimento dell'energia termica tra due o più sistemi fisici dovuto alla differenza di temperatura.*

*In fisica, la temperatura è la proprietà che caratterizza lo stato termico di un sistema, in relazione allo stato di un altro sistema preso come punto di riferimento, in genere lo zero della scala corrispondente allo stato termico di congelamento dell'acqua a una certa pressione atmosferica.*

Cerco di spiegare in parole povere:

Il calore è l'energia termica, ovvero è la quantità di

energia che abbiamo a disposizione, dobbiamo fornire o dobbiamo dissipare, in un certo processo, mentre la temperatura è la misura del livello al quale si trova questa energia (e/o dove magari vogliamo portarla, trasferirla, veicolarla...).

Faccio un esempio banale, ma efficace. La caldaia che abbiamo in casa, ha una potenza termica di 25 KW, ovvero può fornire energia termica, calore, fino a 25 KW, ma in che modo? Impiegandola per produrre acqua calda per i termosifoni a 80°C, oppure acqua calda per la doccia a 42°C. La potenzialità termica o energia termica è sempre la stessa, ma cambia l'utilizzo che dobbiamo farne, e di conseguenza il livello di temperatura alla quale viene resa disponibile a seconda della natura della sua applicazione.

Questo è un concetto fondamentale per tutti i nostri prossimi spunti e ragionamenti.

Ricordate che è sempre meglio avere energia termica di alto livello (ovvero a temperatura alta, in qualche modo 'concentrata', ovvero veicolata dalla minor quantità di fluido vettore possibile), per poter effettuare dei recuperi termici efficienti e utili: meglio poca acqua caldissima, che tanta acqua tiepida.

## CALDO E FREDDO

Ancora due piccole chiarimenti, su due concetti altrettanto necessari.

Caldo e freddo, riscaldare o raffreddare, sono due nomi

posizionabili sul continuum di un unico processo termico, che implica trasferimento di energia termica (calore) da un fluido/corpo/materia a un altro.

In passato capitava di sentir parlare di calorie, frigorie... come se si trattasse di entità distinte, generando confusione. Stiamo parlando della medesima cosa! Fortunatamente il sistema ISO oggi ha dato una unità di misura univoca, che chiarisce molto questo aspetto: i KW termici.

Tanto per fare un esempio sempre banale, il frigorifero di casa nostra, non genera freddo, è più corretto dire che sottrae calore a quanto c'è al suo interno, per trasferirlo all'ambiente esterno (mai toccata la batteria/serpentina/scambiatore posteriore del frigorifero? Caldo vero...?): si tratta insomma di raggiungere condizioni finali desiderate di freddo o di caldo, ovvero in altre parole di trasferire calore, energia termica misurata in KW.

Mi soffermo su questo argomento ancora un poco, in quanto è utile capire se un certo processo debba essere raffreddato, quindi debba cedere calore, oppure riscaldato, quindi gli si debba fornire del calore, ma agli effetti della determinazione della quantità di energia termica da fornire o togliere (dissipare), i numeri che ci serviranno (che vedremo più avanti), sono sempre gli stessi.

# DISSIPARE, RAFFREDDARE, RISCALDARE, RECUPERARE, TERMOREGOLARE

Tutti i processi produttivi necessitano di calore oppure generano calore in eccesso, che deve essere smaltito come vedevamo al precedente capitolo.

E sempre riallacciandomi al precedente capitolo, tutti fanno parte della grande famiglia del 'trasferimento dell'energia termica'.

Faccio alcuni esempi giusto per capire al volo le varie situazioni:

- un motore endotermico ha bisogno di essere raffreddato, ovvero deve dissipare il calore in eccesso, altrimenti andrà in sovratemperatura fino a bloccarsi o rompersi (se le sicurezze non dovessero intervenire).
- un bagno di tempra per l'acciaio deve essere mantenuto freddo, mentre viene immerso il materiale proveniente dal forno di riscaldamento, altrimenti il trattamento termico sarà compromesso, in quanto non si riuscirà a bloccare il cristallino del metallo nella posizione voluta.
- l'acqua di alimentazione di un impianto di pastorizzazione per il latte deve essere riscaldata prima di essere immessa nello scambiatore, altrimenti il ciclo di pastorizzazione non rispetterà le temperature corrette e conseguentemente il latte non avrà le caratteristiche alimentari adeguate.

- il reattore per la produzione di un principio attivo farmaceutico andrà 'termoregolato' a una corretta temperatura, pena il danneggiamento del prodotto; ovvero, a seconda del momento, andrà asportato o fornito calore.
- Un impianto di cogenerazione genera sia energia elettrica che energia termica, che va recuperata il più possibile, per ottimizzare il rendimento energetico complessivo.
- il vapore esausto di una turbina deve essere condensato, ma in tale operazione può servire per recuperare energia termica che altrimenti andrebbe sprecata.

# MACCHINE TERMICHE (GLOSSARY)

Procediamo ora a illustrare qui di seguito una breve raccolta delle varie macchine termiche che entrano in gioco nella gestione dell'energia termica, applicata nei vari processi industriali. Un glossario tecnico di semplice consultazione che permette anche ai non addetti ai lavori di conoscere nei dettagli alcune delle parole che incontreranno in questo libro:

- SCAMBIATORI DI CALORE
- FREE COOLER, DRY COOLER
- TORRE EVAPORATIVA
- RAFFREDDATORE EVAPORATIVO/CONDENSATORE EVAPORATIVO
- REFRIGERATORE O CHILLER
- CENTRALINA DI TERMOREGOLAZIONE/TERMOSTATAZIONE

Per ogni tipologia di macchina termica che figura in questo elenco, cercherò di dare sommariamente un prospetto sulle condizioni ideali d'impiego, valutando i vantaggi e i possibili svantaggi connessi a ognuna.

## SCAMBIATORI DI CALORE

Lo scambiatore di calore è un'apparecchiatura che serve a trasferire l'energia termica (il calore) tra due fluidi aventi temperature differenti. Esistono tantissimi tipi differenti di scambiatori di calore che variano a seconda della tipologia di fluido tra i quali devono trasmettere e scambiare il calore. Gli scambiatori di calore sono apparecchiature 'passive', ovvero non generano il calore ma si limitano a trasferirlo.

Esistono scambiatori a miscelazione e a superficie. In questo libro parlerò dei secondi, che in funzione della tipologia costruttiva possono essere classificati come segue:

- Scambiatori di calore a fascio tubiero (shell and tube): uno dei fluidi passa all'interno di tubi di sezione solitamente circolare e l'altro all'esterno dei tubi stessi, in un mantello, completo di appositi deflettori (setti) che ne aumentano la turbolenza (ovvero il movimento vorticoso e agitato del fluido che incrementa lo scambio di calore);
- Scambiatori di calore a piastre (plate heat exchangers): i due fluidi lambiscono i lati opposti di una lamiera corrugata o piana con l'inserimento di turbolatori in camere alternate e tra loro isolate da guarnizioni o saldature (rispettivamente in scambiatori ispezionabili o saldati), tipicamente in controcorrente;
- Scambiatori di calore a spirale: i due fluidi passano ai lati opposti di una lamiera liscia in camere avvolte a spirale;
- Scambiatori di calore a blocchi: i fluidi circolano in fori cilindrici (o ovoidali) solitamente disposti ortogonalmente nei due lati (tipica costruzione in grafite);

- Scambiatori di calore a pacco alettato o batterie o radiatori: uno dei fluidi passa all'interno di tubi e l'altro (gassoso) attraverso il pacco alettato all'esterno dei tubi.

## FREE COOLER, DRY COOLER

Un free cooler è sostanzialmente un tipo di scambiatore, macchina termica della quale abbiamo appena parlato, e nello specifico si tratta di uno scambiatore a pacco alettato, tipicamente utilizzato per il raffreddamento di un fluido che scorre all'interno dei tubi, tramite un gas (aria) che lambisce i tubi e le alette di scambio. Viene classificato come macchina termica, data la presenza di elettroventilatori, che vengono forniti già installati a bordo, per fornire la portata di aria necessaria a svolgere la duty termica (il lavoro termico da svolgere), ovvero a movimentare e veicolare l'aria che serve a dissipare il carico termico.

Sono conosciuti con differenti nomi, a seconda dell'applicazione alla quale sono asserviti.

Comunemente vengono chiamati free-cooler quando sono impiegati per il raffreddamento sfruttando le basse temperature dell'aria esterna in sostituzione di un refrigeratore (chiller), portando notevole risparmio energetico.

Vengono chiamati dry-cooler quando sono impiegati in sostituzione di torri evaporative (condizioni climatiche permettendo), eliminando la parte di scambio per evaporazione tipica delle torri, raffreddando quindi in 'modo asciutto'.

## TORRE EVAPORATIVA

La torre evaporativa è un classico dei sistemi di raffreddamento a circuito chiuso, per anni e ancora oggi il più utilizzato in ambito industriale: consente di dissipare notevoli quantità di calore con un minimo dispendio di energia, raffreddando acqua a una temperatura inferiore alla temperatura ambiente, tramite consumo di acqua per evaporazione.

Il principio di funzionamento di una torre evaporativa sfrutta infatti il calore latente di evaporazione per ottenere un effetto raffreddante importante, a discapito di un consumo di acqua di modesta entità.

Una torre evaporativa offre un'ottima efficienza, con un basso consumo energetico, di contro necessita di un attento e costante controllo dell'acqua in ricircolo, che va mantenuta pulita onde evitare incrostazioni e sedimenti.

Oggigiorno esistono sistemi automatici che permettono il monitoraggio dell'acqua in ricircolo, minimizzando o comunque dilatando i tempi di manutenzione.

In queste macchine, l'acqua da raffreddare attraversa la torre cadendo dall'alto per gravità, cedendo parte del suo contenuto calorico all'aria atmosferica che sale invece dal basso, e il raffreddamento avviene così per scambio diretto.

Tale trasferimento di calore avviene in parte per convezione (o per calore sensibile) tra acqua calda e aria fredda (provocando un aumento della temperatura dell'aria), ma soprattutto sfruttando il calore latente

di evaporazione: il calore latente di evaporazione è la quantità di calore che viene sottratta all'aria per consentire l'evaporazione dell'acqua, una parte della quale passa nell'aria appunto sotto forma di vapore acqueo asportando calore.

L'evaporazione avviene a causa della differenza di pressione del vapore acqueo, nello strato limite d'aria a contatto diretto con l'acqua, e la pressione del vapore dell'aria ambiente, procedendo fino al coincidere delle due pressioni, in altre parole fino alla saturazione del contenuto di umidità dell'aria. Stato che corrisponde alla temperatura di bulbo umido, ovvero la temperatura più bassa dell'acqua che teoricamente può essere raggiunta tramite il processo di evaporazione.

Tale condizione si verifica quando la temperatura dell'acqua e dello strato limite raggiungono la temperatura del bulbo umido dell'aria, stato in cui il processo di evaporazione si arresta.

Il flusso di aria che viene utilizzato nelle torri evaporative può essere ottenuto in diversi modi, naturalmente per convezione o artificialmente con l'ausilio di ventilatori. Quando si utilizzano i ventilatori, si possono avere diverse geometrie costruttive, che determinano la tipologia di torre, indotta o forzata.

Dal punto di vista energetico, la torre evaporativa è una macchina che ha un ottimo rapporto fra l'energia elettrica installata e l'energia termica che smaltisce, e quindi si presta benissimo per dissipare notevoli quantità di calore fino a temperature intermedie. Tali prerogative la rendono assolutamente vincente in diversi settori applicativi, dove i processi non necessitano di raffreddamenti spinti in ordine

di temperatura da ottenere, ma comportano importanti quantità di calore da eliminare.

## **RAFFREDDATORE EVAPORATIVO**

Il raffreddatore evaporativo è un'evoluzione della torre evaporativa, che prevede l'inserimento di uno scambiatore di calore al posto del pacco di scambio. In pratica lo scambio termico sfrutta i benefici dell'evaporazione dell'acqua (calore latente di evaporazione), con il vantaggio di avere il fluido da raffreddare in un circuito chiuso, quindi esente da inquinamenti causati dall'aria che circola per consentire lo scambio termico.

In queste macchine il fluido da raffreddare è introdotto in una batteria di tubi di scambio termico, che viene investita e spruzzata da acqua del circuito di raffreddamento evaporativo. Nella fattispecie, il fluido da raffreddare può essere acqua oppure può trattarsi di soluzioni incongelabili o oleose, fino addirittura a olii idraulici direttamente.

L'evaporazione di una parte di acqua in ricircolo asporta il calore da smaltire unitamente allo scambio diretto dell'aria.

Utilizzando la medesima filosofia, si possono condensare direttamente nello scambiatore i fluidi refrigeranti dei gruppi frigoriferi (tipicamente ammoniaca), evitando il doppio passaggio termico previsto dal sistema torre evaporativa aperta e condensatore (scambiatore di calore posto in serie alla torre).

Tale soluzione può presentare dei vantaggi interessanti rispetto alle soluzioni che prevedono l'impiego di torri aperte unitamente a scambiatori, in ordine di dimensioni

di ingombro, compattezza e facilità di gestione, essendo una soluzione in unico monoblocco.

Un altro vantaggio è dato da un minore consumo di acqua per evaporazione (circa 20% in meno), in quanto diminuisce l'effetto 'evaporativo' (calore latente) a favore dell'effetto scambio termico a superficie (calore sensibile).

Ovviamente interponendo un ulteriore 'gradino' nello scambio termico, l'efficienza globale è inferiore rispetto alla torre evaporativa (disperde mediamente più energia).

## REFRIGERATORE O CHILLER

I gruppi frigoriferi, chiller in inglese, sono macchine che sfruttando la compressione e l'espansione di gas particolari consentono di sottrarre calore a un fluido.

Si tratta di macchine vere e proprie, che richiedono una serie di componenti per il proprio funzionamento:

- Compressore
- Condensatore
- Evaporatore

Quindi uniscono una macchina con degli scambiatori di calore.

Allo scopo di questo libro, parleremo genericamente di refrigeratori di acqua, quindi di gruppi frigoriferi che utilizzano un ciclo di compressione ed espansione di un gas frigorifero (freon, ammoniaca), allo scopo di raffreddare acqua (produrre acqua refrigerata), da utilizzare poi nel processo da raffreddare.

Sono quindi macchine che comprendono, oltre alla parte frigorifera, anche una parte idraulica di accumulo e ricircolazione dell'acqua refrigerata.

Sopra ho scritto volutamente 'produrre acqua refrigerata', anche se è un evidente errore, in quanto è più corretto dire che i refrigeratori raffreddano l'acqua sottraendo il calore, riducendone di conseguenza la temperatura.

Esistono due grosse famiglie di refrigeratori, che si distinguono per il fluido di condensazione:

- Raffreddati ad acqua
- Raffreddati ad aria

In pratica, i refrigeratori raffreddati (condensati) ad acqua utilizzano uno scambiatore ad acqua per condensare il gas frigorifero, mentre i secondi utilizzano appunto l'aria. I secondi sono più rumorosi e più energivori, ma sono 'senza consumo di acqua'.

Ai fini della comprensione di alcuni esempi che citeremo nel corso del libro, è importante capire che il rendimento di un gruppo frigorifero, ovvero la sua resa frigorifera, espressa in KW (o in Kcal/h), è influenzata principalmente da due fattori molto importanti:

1. temperatura desiderata dell'acqua in uscita (temperatura/pressione di evaporazione)

2. temperatura ambiente (temperatura/pressione di condensazione)

1. In sostanza, al variare verso il basso della temperatura di acqua richiesta, un gruppo frigorifero vede diminuire il proprio rendimento termico. Oppure possiamo dire che un gruppo frigorifero che debba dissipare una definita quantità di energia termica, a una temperatura più alta, consuma meno di un altro che debba dissipare la stessa quantità di energia a una temperatura più bassa. Esempio: costano di più 100.000 Kcal/h di acqua a 5°C, rispetto a 100.000 Kcal/h a 15°C.

2. Un gruppo frigorifero rende di più in condizioni di temperatura ambientale bassa (entro determinati limiti), rispetto a un'installazione in ambiente più caldo.

Per esemplificare ulteriormente, di seguito trovate un'immagine dell'andamento delle rese di un compressore frigorifero, al variare di temperature di evaporazione e condensazione.

Questa informazione va sempre tenuta presente nel progettare sistemi di raffreddamento, in quanto i gruppi frigoriferi consumano energia e ne consumano di più in condizioni limite per temperatura ambiente e di fluido raffreddato.

Quando si affronta un progetto è importante definire a priori questi limiti, in modo da dimensionare adeguatamente il sistema di raffreddamento alle condizioni operative corrette.

Conviene sempre sovradimensionare gli elementi passivi dei sistemi, come gli scambiatori di calore, infatti un gruppo frigorifero che 'gira' consuma energia ogni minuto/ora/giorno/mese che lavora, mentre uno scambiatore più grande presenta un costo solo al momento dell'investimento.

R407C

Model: ZR250KCE-TWD

Capacity

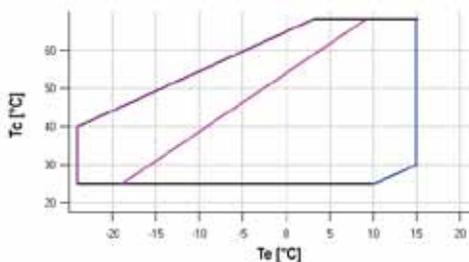
**Cooling capacity [kW]**

| $t_c \setminus t_e$ | -20   | -15   | -10   | -5    | 0     | 5     | 10    | 15    |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 25                  | 24.79 | 31.03 | 38.41 | 47.06 | 57.12 | 68.74 | 82.04 | -     |
| 30                  | 23.30 | 29.34 | 36.46 | 44.81 | 54.54 | 65.77 | 78.65 | 93.32 |
| 35                  | 21.74 | 27.55 | 34.40 | 42.43 | 51.80 | 62.63 | 75.06 | 89.24 |
| 40                  | 20.10 | 25.66 | 32.22 | 39.92 | 48.91 | 59.32 | 71.29 | 84.96 |
| 45                  | -     | 23.68 | 29.93 | 37.28 | 45.87 | 55.84 | 67.33 | 80.48 |
| 50                  | -     | -     | 27.53 | 34.51 | 42.68 | 52.19 | 63.18 | 75.79 |
| 55                  | -     | -     | -     | 31.61 | 39.35 | 48.39 | 58.86 | 70.90 |
| 60                  | -     | -     | -     | -     | 35.88 | 44.42 | 54.35 | 65.82 |
| 65                  | -     | -     | -     | -     | -     | 40.30 | 49.67 | 60.53 |

**Power input [kW]**

| $t_c \setminus t_e$ | -20   | -15   | -10   | -5    | 0     | 5     | 10    | 15    |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 25                  | 8.97  | 9.07  | 9.16  | 9.21  | 9.17  | 9.00  | 8.64  | -     |
| 30                  | 9.97  | 10.05 | 10.16 | 10.26 | 10.31 | 10.26 | 10.07 | 9.68  |
| 35                  | 11.14 | 11.18 | 11.28 | 11.41 | 11.52 | 11.57 | 11.51 | 11.29 |
| 40                  | 12.54 | 12.51 | 12.58 | 12.71 | 12.85 | 12.97 | 13.01 | 12.94 |
| 45                  | -     | 14.09 | 14.10 | 14.20 | 14.35 | 14.51 | 14.64 | 14.68 |
| 50                  | -     | -     | 15.89 | 15.94 | 16.08 | 16.25 | 16.43 | 16.56 |
| 55                  | -     | -     | -     | 17.98 | 18.07 | 18.23 | 18.43 | 18.62 |
| 60                  | -     | -     | -     | -     | 20.38 | 20.51 | 20.71 | 20.93 |
| 65                  | -     | -     | -     | -     | -     | 23.13 | 23.30 | 23.53 |

**Application range**



- Maximum evaporating temperature
- 25°C suction gas temperature
- 10K gas overheat

Operating conditions: 10K suction superheat, 0K subcooling

$t_c$  - Condensing temperature [°C]

$t_e$  - Evaporating temperature [°C]

## CENTRALINE DI TERMOREGOLAZIONE

Sono insiemi di apparecchiature, nate per consentire una regolazione fine della temperatura di un processo industriale.

Infatti, sono solitamente abbinate a sistemi che producono freddo e/o caldo, limitandosi a termoregolare finemente la temperatura finale del fluido che mettono a disposizione del processo.

Esistono poi centraline autonome, per sistemi di piccola potenza, che integrano a bordo il sistema di produzione del caldo, tramite resistenze elettriche corazzate, e la produzione di freddo, tramite gruppi frigoriferi dedicati.

Vi sono tantissimi sistemi diversi con varianti che li rendono molto flessibili, e i fluidi che possono termoregolare sono sostanzialmente definiti dalle condizioni operative:

- Bassa e bassissima temperatura (fino a  $-30^{\circ}\text{C}$ ), soluzioni incongelabili
- Temperature medie, fino a  $90^{\circ}\text{C}$ , acqua
- Temperature medio alte, fino a  $140^{\circ}\text{C}$ , acqua pressurizzata
- Temperature alte, fino a  $300^{\circ}\text{C}$ , olio diatermico

Solitamente le centraline di termoregolazione vengono realizzate a uno o due livelli di temperatura:

- Caldo
- Caldo / Freddo

Per particolari processi produttivi è d'uso avere la gestione di tre livelli di temperatura

- Gelido
- Freddo
- Caldo

Virtualmente è possibile avere infiniti livelli di temperatura, anche se i processi industriali solitamente non li richiedono.

In taluni casi specifici, si sopperisce a queste particolari necessità tramite sistemi di termoregolazione elettronica dedicati, miscelando gli effetti dei vari fluidi di servizio allo scopo di ottenere la temperatura voluta.

Questi sistemi possono essere gestiti in modo locale o remoto tramite PLC e sistemi sofisticati, allo scopo di ottenere rampe più complesse e precise di riscaldamento o raffreddamento, necessarie per processi produttivi particolarmente delicati (ad esempio, produzioni farmaceutiche o alimentari e similari).

# DETERMINAZIONE DEL CARICO TERMICO

Quando affrontiamo un problema relativo al raffreddamento o riscaldamento di un processo, esistono tre fattori che vanno analizzati in prima battuta, per poter stabilire dei punti fermi dai quali partire:

Tipo di fluido di raffreddamento/riscaldamento da utilizzare

- Aria
- Acqua
- Vapore
- Olio diatermico

## LIVELLO DI TEMPERATURA RICHIESTO

Come abbiamo visto nel capitolo dedicato al glossario, che approfondiremo più avanti, è importante capire che livello di temperatura è richiesto dal processo, allo scopo di centrare correttamente il tipo di macchina da utilizzare e, nell'ambito del tipo di macchina scelta, quanto le sue prestazioni dovranno essere spinte.

## CARICO TERMICO RICHIESTO

Ovvero la quantità di energia che dovremo dissipare/ somministrare al processo in questione, infatti, il cliente ha solitamente ben chiaro che tipo di raffreddamento/ riscaldamento è necessario per il proprio processo, e altrettanto ha una idea sufficientemente chiara del livello di temperatura che deve raggiungere per ottenere una produzione di qualità.

La parte più complicata è legata alla definizione del carico termico richiesto, ossia della potenzialità termica necessaria.

Infatti, quando si chiede al cliente “quanti KW di riscaldamento/ raffreddamento dobbiamo asportare/ apportare?”, il più delle volte la risposta è... un generico non saprei.

Nel caso in cui il nostro cliente sia un costruttore di impianti o macchine, per ovvi motivi, questo dato è solitamente già abbastanza definito.

Quando invece ci troviamo ad avere a che fare con un produttore finale, ovvero un ‘end user’, ci potremo trovare di fronte alla risposta di cui sopra... “non saprei”.

In questi casi, l’esperienza di anni di lavoro ci ha permesso di attuare una strategia di calcolo, piuttosto raffinata ed efficace, che cercherò di condividere almeno sommariamente. Infatti, la determinazione del carico termico è il passaggio più delicato e importante, in quanto da questa dipende la selezione della macchina e dei

componenti del sistema di raffreddamento/riscaldamento. Un errore in questa fase si ripercuote su tutto il progetto in modo esponenziale.

Oltre a sbagliare clamorosamente la potenza termica della macchina, questo errore causa conseguentemente una errata valutazione delle portate dei fluidi di raffreddamento/riscaldamento, con conseguente errato dimensionamento delle pompe o dei ventilatori, ma anche delle relative condotte, che risulteranno troppo piccole per eventuali correzioni di tiro.

Insomma, si innesca un circolo vizioso, che può costare molto caro.

Se avete dei dubbi, rivolgetevi a un professionista, che sicuramente sarà in condizione di cautarvi sulle scelte fatte.

Se ulteriormente non vi sentite sicuri, cercate di raccogliere quanti più dati possibile, per poter incrociare magari diversi sistemi di verifica del carico termico.

Arriviamo al punto: in sostanza si tratta di definire la quantità di prodotto che viene realizzato sulla linea del cliente che deve essere raffreddata/riscaldata. A questo punto, fermo restando il fatto che a livello di temperature anche l'end user sa benissimo che risultati vuole raggiungere, andiamo a determinare il calore specifico del prodotto, che, moltiplicato per produzione oraria e salto termico da realizzare, ci dà un'idea già più chiara della potenza termica di cui stiamo parlando.

A questo valore, vanno poi aggiunte dispersioni termiche, apporti termici da macchinari legati alla produzione/movimentazione del prodotto, effetti convettivi e/o induttivi, insomma qui si entra nel tecnico è vero, ma stiamo pur sempre parlando di valori ed effetti rilevabili in qualche giornata di verifiche fatte sul posto, armati di termometri di prossimità e pazienza.

A questo punto il gioco è fatto... abbiamo il numero magico.

Attenzione, in questa fase non facciamoci prendere da eccessivi entusiasmi, ma se possibile facciamo una verifica ulteriore, magari incrociando ulteriori dati, in modo che i risultati portino tutti nella stessa direzione.

Spesso il cliente, prima di approcciare un nuovo sistema di riscaldamento o raffreddamento, ha esperienze di vecchi impianti o di vecchi sistemi. Facendo una verifica di questi ultimi, potrete avere un riscontro sui vostri calcoli.

Non abbiate mai timore di chiedere, anche se potrebbe apparire come un terzo grado nei confronti del cliente!!!

Per meglio spiegare quanto sopra, prendiamo un esempio pratico.

Cliente: forgiatura di acciaio

Applicazione: spegnimento in bagno di tempra della produzione

Dati definiti

lavoro termico: raffreddamento

fluido di raffreddamento: olio di tempra

livello di temperature: acciaio in ingresso 900°C, che va raffreddato rapidamente a 80/90°C

Il processo di tempra e spegnimento è ben conosciuto dal cliente, che sa benissimo come agitare il fluido (olio) per raffreddare i pezzi.

Alla domanda “quante chilocalorie dobbiamo asportare?”... nessuna risposta.

Chiediamo allora la produzione oraria, ovvero quanti quintali di acciaio contano di trattare ogni ora.

50 q.li

Perfetto, abbiamo quasi tutto:

Quantità di calore = produzione oraria \* salto termico \* calore specifico

$$Q = 5000 \text{ (kg/h)} * (900-90)(^\circ\text{C}) * 0,16716 \text{ (Kcal/kg}^\circ\text{C)}$$
$$= 676.990 \text{ Kcal/h}$$

Un'ultima nota, verificate l'indice di contemporaneità delle lavorazioni: nel caso ci siano più lavorazioni in parallelo, non è detto che funzionino tutte contemporaneamente, così come potrebbe invece avverarsi il contrario.

Questo fatto è importante non solo per la determinazione della potenzialità termica della nostra macchina o del nostro impianto di raffreddamento/riscaldamento, ma anche perché potremmo sfruttare i tempi 'morti' per accumulare freddo o caldo da utilizzare nei momenti di 'punta', rendendo ancora più efficiente il sistema.

Più avanti magari vedremo come possiamo sfruttare anche queste possibilità per far risparmiare energia.

# SCELTA DELLA MACCHINA TERMICA E RELATIVA TIPOLOGIA

## SCELTA DELLO SCAMBIATORE DI CALORE

Uno scambiatore di calore è un componente termodinamico che consente il trasferimento di energia sotto forma di calore tra due fluidi. Esistono sul mercato diversi tipi di scambiatori standard, per applicazioni come teleriscaldamento, caldaie e refrigerazione, ma lo scambiatore è una macchina termica estremamente versatile, che può essere appositamente studiata per adattarsi alle più diverse caratteristiche di processo o di prodotto. Gli scambiatori di calore trovano oggi impiego in tutti i settori dell'industria, per la termostatazione, la termoregolazione e il recupero di calore, ovunque sia necessario riscaldare o raffreddare fluidi di lavoro in macchinari ed equipaggiamenti industriali. Gli scambiatori di calore sono macchine statiche e passive, non hanno parti in movimento (ad eccezione dei ventilatori negli scambiatori aria/liquido) e lavorano semplicemente trasferendo energia termica (non ne consumano e non ne creano), sfruttando lo scambio termico che si instaura naturalmente fra due fluidi che si trovano a diversa temperatura: lo scambio termico è un processo fisico naturale che avviene in base al principio che l'energia

presente in un sistema tende sempre all'equilibrio, distribuendosi in questo caso tra i fluidi tendendo all'uniformità delle temperature.

Esistono scambiatori ad aria e ad acqua, utilizzati con i più svariati fluidi di processo, e lo scambio può avvenire per contatto diretto o indiretto. Nello scambio diretto o per miscelazione, due fluidi immiscibili vengono prima portati a contatto e poi separati, come avviene nelle torri di raffreddamento dove l'acqua viene raffreddata per contatto diretto con l'aria. Negli scambiatori di calore indiretti o a superficie, di cui parliamo in questo capitolo, i due fluidi sono invece separati da una superficie di scambio, una sottile parete divisoria in metallo, una piastra, un tubo di una serpentina, che fa da materiale di trasmissione per il passaggio di calore tra i due fluidi.

Esistono vari tipi di scambiatore, a seconda di come lo scambio termico viene ottenuto: scambiatori a fascio tubiero, ideali per esempio per il recupero di calore da fumi in impianti di cogenerazione con motori endotermici, usati largamente e per inerzia storica fino in anni recenti e oggi sempre più sostituiti da scambiatori a piastre, soluzione molto più compatta e performante (minori consumi di acqua e maggiore rendimento termico). Esistono però anche scambiatori di calore a spirale, a blocchi e scambiatori a pacco alettato.

È fondamentale suddividere in prima battuta la tipologia di scambio che si deve effettuare, per fare una prima grossa selezione della tipologia di scambiatore che si andrà ad utilizzare. Infatti, i classici scambiatori a pacco

alettato trovano maggior impiego nelle applicazioni legate alla dissipazione di calore, ovvero allo scambio termico tra fluidi gassosi a basse pressioni e liquidi (dry cooler, radiatori, free cooler, ecc...)

## TIPI DI SCAMBIATORE

Un primo modo per realizzare lo scambio termico tra i due fluidi, è impiegare due tubi coassiali inseriti uno nell'altro, come avviene appunto negli scambiatori a fascio tubiero, dove viene fatto scorrere il primo fluido nel tubo interno e il secondo nella zona anulare tra un tubo e l'altro.

Esistono poi scambiatori a tubi e mantello, o shell and tube, ovvero scambiatori che esasperano il concetto sopradescritto. Infatti sono costituiti da un fascio di tubi semplici in cui scorre un fluido, e da un mantello in cui tale fascio è contenuto e nel quale è presente il secondo fluido.

Una ulteriore tipologia è quella degli scambiatori a serpentina, ideali per fluidi corrosivi o sporchi, prevedono l'immersione del sistema di scambio termico nella vasca contenente il fluido da termostatare. Hanno il difetto di richiedere costi di posa elevati, in quanto servono metri di tubo per raggiungere superfici di scambio adeguate alla duty termica.

Lo scambio termico può anche ottenersi con intercapedini di scambio esterne, ma questo tipo di macchinario richiede una lavorazione complicata, e la

superficie di scambio è limitata alle pareti e al massimo al fondo delle vasche contenenti i fluidi da termostatare.

Gli scambiatori a piastre ispezionabili o saldobrasati presentano un rapporto molto elevato tra il volume e la superficie di scambio termico.

Sono costituiti da un pacco di piastre simili tra loro ottenute da lamiera per stampaggio a freddo con differenti forme di corrugazione superficiale, aventi angoli differenti a seconda dello schema termico che si desidera ottenere.

I fluidi lambiscono le piastre, percorrendo i canali che si formano tra di esse, che inducono il fluido in moto turbolento anche a basse velocità.

Le piastre sono sostenute da un telaio e pressate da una testata mobile del medesimo.

Sono modulari, facilmente smontabili per pulizia o successivi ampliamenti, hanno basse perdite di carico (cadute di pressione), e in caso di perdite garantiscono l'impossibilità del trafilamento da un fluido verso l'altro, grazie al particolare disegno della guarnizione.

## DETTAGLI COSTRUTTIVI

Ogni piastra è dotata di sedi per le guarnizioni di tenuta, riscontri per l'accoppiamento delle piastre durante la fase di montaggio, due coppie di fori per l'ingresso e l'uscita dei fluidi e corrugazioni di varie forme.

Le funzioni delle diverse corrugazioni, come anticipato qualche riga sopra, sono:

- Irrigidimento meccanico e tenuta alle pressioni
- Ottimizzazione della distribuzione del fluido su tutta la superficie
- Incremento della turbolenza che migliora il coefficiente di scambio termico globale

Questa soluzione comporta circa il 25-30% di peso e ingombro in meno rispetto agli scambiatori a tubo, oltre ad avere un coefficiente di scambio anche oltre tre volte superiore. In uno scambiatore a piastre tutte le superfici concorrono allo scambio termico, e non ci sono impalcature, tiranti e diaframmi, strutture presenti in uno scambiatore a fascio tubiero e che non entrano a nessun titolo nel processo di trasferimento (in conseguenza, è anche richiesta una superficie di scambio proporzionalmente inferiore, da 1/3 a 1/5 più piccola). Gli scambiatori a piastre offrono numerosi vantaggi, sono una soluzione compatta, modulare, flessibile, versatile, efficiente. E si potrebbe continuare, ma i pregi di questo tipo di scambiatori verranno fuori con il seguito della trattazione.

Scambiatori a piastre a immersione sono invece una valida alternativa agli scambiatori a serpentina, laddove i metri di tubo immersi nel fluido contenuto in una vasca sono sostituiti da pacchi di piastre realizzate su misura, rigonfiate per creare una camera interna di passaggio per il fluido di riscaldamento/raffreddamento. La soluzione offre coefficienti di scambio molto più elevati grazie al moto turbolento del fluido interno, dimensioni e connessioni customizzabili, costi contenuti e facilità di installazione.

Negli scambiatori di calore a spirale i due fluidi passano ai lati opposti di una lamiera liscia in camere avvolte a spirale, offrono il vantaggio di essere facilmente pulibili, vengono utilizzati con fluidi particolarmente densi e sporcanti, per applicazioni gravose in ambito depurazione acqua e waste water treatment (trattamento acque di scarico).

Gli scambiatori di calore a blocchi hanno la caratteristica che i fluidi circolano in fori cilindrici (o ovoidali) solitamente disposti ortogonalmente nei due lati (tipica costruzione per gli scambiatori in grafite).

Gli scambiatori di calore a pacco alettato o batterie, o radiatori, vengono impiegati nello scambio termico tra aria e un fluido liquido, tipicamente acqua o olio. Il liquido passa all'interno di tubi e l'altro (fluido gassoso) attraverso il pacco alettato all'esterno dei tubi, spesso veicolato da ventilatori che ne aumentano e garantiscono la portata.

## **Parametri che influenzano la scelta dello scambiatore con fluidi non gassosi**

Per procedere alla scelta dello scambiatore più adatto al problema termico da risolvere, occorre conoscere parametri quali le proprietà dei fluidi coinvolti, il loro calore specifico, il carico termico con cui si lavora, la portata massima dei fluidi, le loro temperature di ingresso e uscita (ovvero il delta termico tra di esse), pressione, temperature e perdite di carico massime ammesse nel processo. Per quanto riguarda il dimensionamento dello scambiatore, è fondamentale considerare il coefficiente globale di

scambio termico, che varia a seconda del tipo di fluidi coinvolti, del tipo di scambiatore scelto, della velocità dei fluidi e del regime di turbolenza o linearità del moto dei fluidi al suo interno. I fattori di sporcamento, le esigenze di manutenzione e la futura possibilità di procedere a un ampliamento completano i fattori da considerare nella scelta dello scambiatore.

## **PRESSIONI E TEMPERATURE**

Esistono limiti d'uso per uno scambiatore di calore relativamente agli intervalli di temperature e pressioni dei fluidi con cui la macchina termica dovrà lavorare, e che vanno tenuti in opportuna considerazione nella scelta della tipologia di scambiatore.

### **SCAMBIATORI A PIASTRE ISPEZIONABILI**

- Massima pressione di esercizio 25 bar
- Massima temperatura di esercizio 190° C

### **SCAMBIATORI SALDOBRASATI**

- Massima pressione di esercizio 40 bar (solo per alcuni modelli)
- Massima temperatura di esercizio dai 250 ai 900° C (a seconda dei modelli)

Scambiatori saldati shell and plate possono essere l'alternativa per condizioni applicative più elevate, e

uniscono i pregi del tipo a fascio tubiero e di quelli a piastre: alti differenziali di pressione e temperatura, basse perdite di carico, dimensioni e pesi ridotti, totalmente saldati ma di facile pulizia e manutenzione.

In questo caso, come per gli scambiatori a fascio tubiero, i limiti di pressione e temperatura aumentano di molto rispetto al range tipico degli scambiatori a piastre. Questo fattore li rende particolarmente adatti alle applicazioni di processo nei settori petrolchimico e chimico pesante.

Scambiatori a piastre saldobrasate possono essere la soluzione ottimale in caso di pressioni elevate di lavoro (40-45 bar e full vacuum) e range di temperatura molto ampio (-200° C e +300° C): la saldatura delle piastre tra loro conferisce infatti un'ottima resistenza meccanica a questo genere di scambiatori a piastre (in un normale scambiatore, la resistenza meccanica è ottenuta collocando le piastre adiacenti con corrugazioni in direzioni opposte, in modo da creare numerosi punti di incrocio e di contatto).

## VELOCITÀ DEI FLUIDI

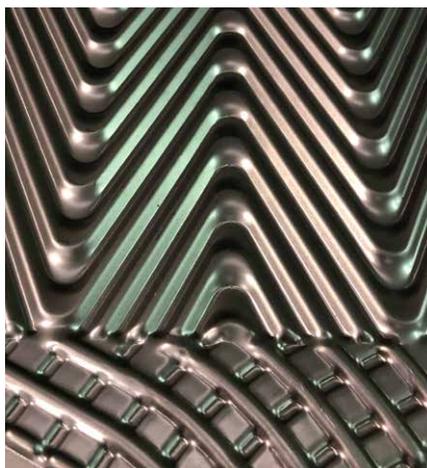
Un fattore che incide fortemente sul coefficiente globale di scambio termico all'interno di uno scambiatore di calore è sicuramente la velocità a cui viaggiano i fluidi che lo attraversano. In genere, struttura, geometria e dimensioni dello scambiatore e suo posizionamento vanno disegnati e ingegnerizzati in maniera tale da imprimere un moto di tipo turbolento ai fluidi, per aumentare lo scambio termico che in presenza di moto laminare non avviene nella maniera opportuna.

Bisogna però evitare velocità troppo elevate, che possono comportare un incremento incontrollato delle perdite di carico e favorire fenomeni di erosione nel caso di fluidi sporchi o con particelle in sospensione.

Nel caso di fluidi che cambino di fase, come accade negli scambiatori impiegati in qualità di condensatori o evaporatori, occorre procedere a una valutazione attenta della velocità dei fluidi in gioco, onde evitare il trascinarsi di gocce che può pregiudicare il funzionamento dell'apparecchio (ad esempio quando è essenziale condensare o evaporare completamente il fluido, come nell'applicazione di scambiatori utilizzati in funzione di 'vent trap' sugli sfiati dei reattori).

Negli scambiatori a piastre, un espediente per aumentare la turbolenza nel moto dei fluidi è la corrugazione della superficie delle piastre, che comporta un incremento nei coefficienti di scambio. Inoltre, le piastre di più moderna concezione presentano geometrie studiate per portare a una distribuzione del fluido uniforme sulla superficie della piastra, lavorando sugli angoli di chevron (angoli nei canali delle piastre) e sul 'chocolate pattern', la zona di distribuzione del fluido in ingresso e in uscita, che presenta sezioni di passaggio dei fluidi con canali più corti a sezione più piccola, e con canali più lunghi a sezione più grande. ideali d'impiego, valutando i vantaggi e i possibili svantaggi connessi a ognuna.

Diversi pattern e disegni nei canali di scorrimento nelle piastre degli scambiatori di calore studiati per garantire una ottimale distribuzione del fluido



## SCELTA DEI MATERIALI

Nello scegliere uno scambiatore di calore, un fattore cruciale è considerare la compatibilità chimica e fisica della tipologia di fluidi con cui la macchina lavorerà con i materiali di costruzione dei vari componenti dello scambiatore stesso. Fluidi corrosivi, fluidi sporcanti, sono elementi da cui dipende fortemente non solo la resa di uno scambiatore, ma anche la sua durata nel tempo e il complessivo ciclo di vita della macchina termica. Proseguiamo allora di seguito a prendere in considerazione la viscosità dei fluidi e il loro coefficiente di sporcamento, quello che tecnicamente viene chiamato fouling factor.

## VISCOSITÀ DEI FLUIDI

### FLUIDI A BASSA VISCOSITÀ (ACQUA/ACQUA)

Cominciamo a prendere in considerazione il caso in cui i due fluidi coinvolti nello scambio termico abbiano entrambi viscosità bassa, inferiore a 10 cP: si tratta tipicamente del caso di scambio termico acqua/acqua. L'impiego di acqua di raffreddamento proveniente da fonti naturali comporta fenomeni anche importanti di sporcamento e corrosione negli scambiatori, per la presenza di particelle in sospensione nell'acqua. In questo caso, la scelta più appropriata è uno scambiatore di calore a piastre ispezionabili, che offre il vantaggio di poter essere smontato e pulito con estrema facilità. A seconda della natura dell'acqua, si procede quindi alla scelta dei materiali,

che varia tra diverse leghe di acciaio inossidabile, leghe di nickel, leghe di acciai altolegati o materiali più nobili come il titanio, e in generale tutti i materiali stampabili a freddo.

## MATERIALI DELLE PIASTRE

- AISI 304
- AISI 316
- Titanio
- 254 SMO
- Hastelloy C 276
- Inconel
- Monel

L'acciaio inox rappresenta una scelta obbligata in quanto è il materiale stampabile a freddo 'meno nobile', e in ogni caso preserva da problemi di corrosione o ossidazione.

La scelta inoltre si impone nel caso in cui l'impianto debba adeguarsi a normative alimentari.

Quando invece ci troviamo a dover utilizzare acqua salmastra, si dovrà propendere per materiali più pregiati come il titanio, che comporta un costo circa doppio rispetto alla tipologia in acciaio inox.

A parità di potenzialità, uno scambiatore a piastre ha il vantaggio di presentare un costo decisamente inferiore rispetto a uno scambiatore a fascio tubiero, soprattutto se prendiamo in considerazione i costi di gestione sul lungo periodo: infatti uno scambiatore a fascio tubiero in lega di rame ha un costo paragonabile a uno scambiatore con piastre in inox, ma di contro tenderà a corrodarsi molto velocemente, rivelandosi molto più dispendioso in manutenzione. Inoltre, la scelta di uno scambiatore a piastre lascia libertà di potenziare la macchina termica aggiungendo nuove piastre al pacco

di scambio, per soddisfare una nuova duty termica in seguito a variazioni nelle condizioni di lavoro (aumento di produzione, variazioni fisiche nelle condizioni dei fluidi), semplicemente aumentando la superficie di scambio con l'aggiunta di nuove piastre.

Nella scelta, occorre anche valutare i limiti di pressione e temperature in gioco, assicurarsi che la tipologia dei fluidi sia compatibile con il materiale usato per le guarnizioni dello scambiatore a piastre e procedere a calcolare una superficie di scambio minima necessaria al trasferimento termico per determinare il dimensionamento. In caso di scarsità d'acqua naturale per il raffreddamento, è possibile infine abbinare questo tipo di macchina termica a una torre di raffreddamento o a un dissipatore ad aria (scelta da effettuare a seconda di fattori quali condizioni meteorologiche, costi energetici, disponibilità di acqua naturale o trattata) per assicurare il ricircolo dell'acqua una volta riportata alla temperatura richiesta dal ciclo termico asservito.

## FLUIDI A MEDIA VISCOSITÀ

Parliamo di fluidi a media viscosità in un range che va da 10 cP a 100 cP, tipicamente il caso di olio idraulico con funzione lubrificante: con questo genere di fluidi, impiegando uno scambiatore tubolare si rischia di lavorare a regime laminare con conseguenti bassi coefficienti di scambio e ridotta efficacia. Anche qui allora la soluzione ottimale consiste in uno scambiatore a piastre, dove la conformazione dei canali è in grado di imprimere

un regime turbolento anche a basse velocità dei fluidi, aumentando il trasferimento termico.

In alternativa, uno scambiatore a piastre all welded, oppure saldo brasato, sarà un'opzione altrettanto valida in caso di incompatibilità chimica con i materiali delle guarnizioni. Gli scambiatori di calore a piastre saldobrasati hanno inoltre il vantaggio di sopportare ampi range di temperature e di pressioni di utilizzo, con elevata efficienza termica.

## FLUIDI AD ALTA VISCOSITÀ

Intendiamo per fluidi ad alta viscosità fluidi con valori superiori ai 100 cP: in questo caso, si è quasi sempre in presenza di un moto laminare, e per ottenere uno scambio termico utile il fattore determinante è la corretta distribuzione del flusso di fluido. Infatti, può per esempio accadere che in ciclo di raffreddamento il fluido con maggiore viscosità a contatto con le superfici fredde provochi maldistribuzioni, con aree a bassa velocità che inficiano le prestazioni dello scambiatore. Anche in questo caso, scambiatori a piastre possono rivelarsi la soluzione più indicata, con l'accorgimento di far entrare il fluido viscoso dalla parte bassa dello scambiatore appunto per ottimizzarne la distribuzione.

Se il fluido presenta viscosità estreme, superiori ai 50.000 cP, è invece preferibile l'impiego di scambiatori a spirale monocanale (che permettono di avere una corretta distribuzione che è impossibile ottenere con quelli multicanale), che hanno il vantaggio di offrire una

resistenza maggiore alla pressione e non pongono il problema della compatibilità chimica delle guarnizioni con i fluidi di processo, o anche scambiatori tubo in tubo, ideali per potenzialità limitate e portate ridotte, in quanto si tratta di una tipologia di scambiatori con coefficienti di scambio contenuti ma che richiedono pertanto dimensioni piuttosto ingombranti.

Lo studio di una particolare corrugazione delle piastre può spesso servire per adattare l'uso di uno scambiatore di calore a piastre ad applicazioni che impiegano fluidi particolarmente sporchi o viscosi.

In casi di fluidi particolarmente sporchi, intasanti e non filtrabili (fluidi carichi di particelle in sospensione, brodi di fermentazione, polpe, flocculi, fanghi, succhi non limpidi) si può ricorrere a scambiatori free flow, o scambiatori a canale largo, dove le piastre hanno un particolare stampaggio privo di punti di contatto, creando un unico canale di scorrimento.

## **GAS O ARIA SOTTO PRESSIONE E VAPORE**

Lo scambio di calore tra gas e aria aventi la stessa pressione è in via di principio identico allo scambio tra liquidi a bassa viscosità: il modello di scambiatore a piastre resta anche qui la soluzione più vantaggiosa. E' fondamentale che i gas siano a pressioni di un certo livello, in quanto se dovessimo lavorare a pressione ambiente, il volume specifico del fluido richiederebbe dimensioni dei canali e dei bocchelli tali da rendere economicamente

poco interessante la soluzione a piastre, a cause dell'elevato valore di perdite di carico indotto dalla tipologia costruttiva.

Nel raffreddamento con aria è in generale necessario uno scambiatore con ampia sezione di passaggio del fluido. Con fluidi a bassa pressione si possono impiegare radiatori, quando le pressioni diventano più alte si fa invece ricorso a scambiatori a fascio tubiero o scambiatori a piastre (nel caso di aria compressa), in genere forniti in strutture dotate di un ventilatore, che ha la funzione di convogliare l'aria sul pacco alettato.

Il vapore può anche essere utilizzato in uno scambiatore di calore per riscaldare un fluido o ottenere fluidi caldi, acqua o olio ad esempio, con il vantaggio che il vapore è facilmente regolabile con l'impiego di adeguate valvole attuate. Questa tipologia di applicazione richiede attenzione nella realizzazione delle linee di scarico condensa, implementando una valvola rompivuoto per evitare allagamenti parziali dello scambiatore dovuti a una evacuazione non completa dei liquidi di condensa, che porterebbe alla formazione di bolle di vapore ad alta pressione, che provocando microesplosioni all'interno dello scambiatore ne causerebbero la rottura in breve tempo.

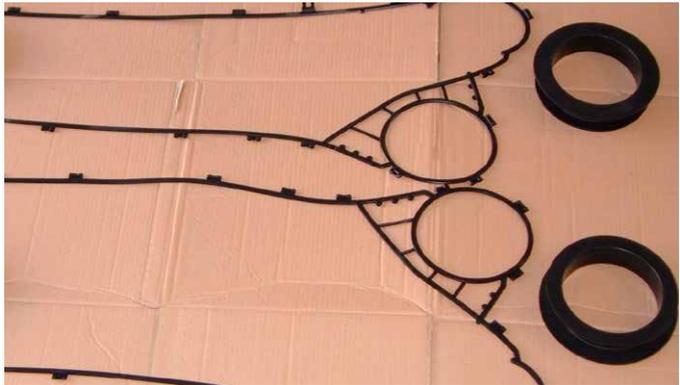
## **COMPATIBILITÀ E DURATA DELLE GUARNIZIONI IN UNO SCAMBIATORE A PIASTRE**

Un limite connesso agli scambiatori a piastre ispezionabili è dovuto alla durata delle guarnizioni e alle temperature massime di esercizio che queste sopportano,

che insieme alla specifica resistenza chimica cambiano a seconda dell'elastomero usato, ad esempio:

- Nitrile NBR 110° C
- Nitrile NBR HT 150° C
- Etilene propilene EPDM 170° C
- Mescole in Gomma Fluorurata 200° C  
(in versione steam per vapore)
- Imbustato teflon PTFE  
(ottima resistenza a solventi e acidi ma scarsissima elasticità)

Guarnizioni per  
scambiatori di  
calore a piastre



+Valori che vanno abbinati alle pressioni effettive di lavoro: a temperatura più alta, infatti, la gomma diventa più morbida sopportando pressioni di lavoro minori. Esistono guarnizioni che sopportano fino a 21 bar di pressione, ma la loro plasticità cambia comunque nel tempo, con l'invecchiare della guarnizione stessa. Fattori quali la temperatura e la natura dei fluidi, le condizioni di

processo, le particelle sospese e uno scorretto impiego dei fluidi di pulizia possono anch'esse compromettere la durata e la tenuta dell'elastomero, comportando usura e rottura delle guarnizioni, compromettendo il funzionamento dello scambiatore. E' pertanto caldamente raccomandabile stabilire un piano di manutenzione programmato che ne controlli lo stato periodicamente, provvedendo alla sostituzione in caso di deterioramento, insieme a un'eventuale pulizia delle piastre e delle superfici di scambio termico e a una generale verifica dello stato dello scambiatore: utile allo scopo anche dotare l'impianto di opportuni sistemi di controllo.

Pensando alla manutenzione e al ciclo di vita di uno scambiatore a piastre, le guarnizioni a Clip sono infine un'alternativa molto valida alle tradizionali guarnizioni incollate, che nel caso di apertura e lavaggio sono smontabili e rimontabili negli appositi incastri con estrema rapidità e senza bisogno di colle.

## **FOULING FACTOR: I LIQUIDI SPORCANTI**

Indipendentemente dal tipo di scambiatore che si adotti, è fondamentale in fase di scelta e progetto considerare sempre un adeguato fattore di sporco (fouling factor): infatti, pochi scambiatori lavorano con fluidi totalmente puliti. In genere invece i fluidi di lavoro e di processo tendono a sporcare in vario modo le superfici di scambio, con sedimenti, incrostazioni e formazioni di altro genere che se non ripulite possono danneggiare e corrodere seriamente le componenti dello scambiatore.

I fluidi di lavoro che vengono impiegati negli scambiatori di calore contengono quasi nella totalità dei casi una certa quantità di sostanze dissolte o in sospensione: sali, carbonati cristallini, particolato di sabbia e fanghiglie, ma anche sostanze risultanti dalle reazioni chimiche indotte nei fluidi durante il processo termico, cloruri, ossidi e alghe e batteri. Queste sostanze depositandosi formano ostruzioni che ostacolano il passaggio dei fluidi, e stratificazioni che abbassano la conducibilità termica dei materiali, generando una crescente resistenza al trasferimento termico. Anche le guarnizioni, laddove presenti, sono esposte nel tempo a erosione meccanica e chimica dovuta a tali sostanze. Il fenomeno è tutt'altro che da sottovalutare, se pensiamo che studi di settore valutano solo per gli Stati Uniti un costo industriale di 4 miliardi di dollari l'anno dovuto a incremento nei consumi energetici e fermo macchina conseguenti alla diminuzione dell'efficienza degli scambiatori. Una permanenza dei sedimenti all'interno degli scambiatori porta a fenomeni localizzati di foratura, pitting, vaiolature e corrosione: basti pensare che lo spessore medio di una piastra, ad esempio, varia tra 0.5 a 0.6 mm, a volte anche meno, per cui il rischio è alquanto reale.

# TABELLA CON FOULING FACTOR TIPICI PER FLUIDI DI PIÙ COMUNE IMPIEGO

## FATTORI DI SPORCAMENTO

### FOULING FACTORS

| FLUIDI<br>FLUIDS   | Sistema SI<br>SI system<br>$m^2 * K/W$ |          | Sistema ST<br>ST system<br>$m^2 * h * ^\circ C/kcal$ |          | Sistema IP<br>IP system<br>$ft^2 * hr * ^\circ F/BTU$ |          |
|--|--|----------|--|----------|---|----------|
|  | T<323°                                 | T>323°F  | T<50°  | T>50°C   | T<120°  | T>120°F  |
| <b>Acqua distillata</b><br><i>Distilled water</i>                | 0,000090                               | 0,000090 | 0,000100   | 0,000100 | 0,000500  | 0,000500 |
| <b>Acqua di mare</b><br><i>Sea water</i>                         | 0,000090                               | 0,000200 | 0,000100   | 0,000200 | 0,000500  | 0,001000 |
| <b>Acqua di torre trattata</b><br><i>Treated tower water</i>     | 0,000200                               | 0,000350 | 0,000200   | 0,000400 | 0,001000  | 0,002000 |
| <b>Acqua di torre non tratt.</b><br><i>Untreated tower water</i> | 0,000450                               | 0,000700 | 0,000500   | 0,000800 | 0,002500  | 0,004000 |
| <b>Acqua di fiume</b><br><i>River water</i>                      | 0,000250                               | 0,000450 | 0,000300   | 0,000500 | 0,001500  | 0,002500 |
| <b>Acquafangosa</b><br><i>Muddy water</i>                        | 0,000500                               | 0,000900 | 0,000600   | 0,001000 | 0,003000  | 0,005000 |
| <b>Acqua di acquedotto</b><br><i>Drinking water</i>              | 0,000200                               | 0,000350 | 0,000200   | 0,000400 | 0,001000  | 0,002000 |
| <b>Acqua dura (&gt;4mg/l)</b><br><i>Hard water</i>               | 0,000500                               | 0,000900 | 0,000600   | 0,001000 | 0,003000  | 0,005000 |
| <b>Acqua trattata alimento</b><br><i>Treated feed water</i>      | 0,000200                               | 0,000350 | 0,000200   | 0,000400 | 0,001000  | 0,002000 |
| <b>Acqua di condensa</b><br><i>Condensate</i>                    | 0,000045                               |          | 0,000050   |          | 0,000250  |          |
| <b>Olii diatermici</b><br><i>Thermal oils</i>                    | 0,000200                               |          | 0,000200   |          | 0,001000  |          |
| <b>Olii combustibili</b><br><i>Fuel oils</i>                     | 0,000900                               |          | 0,001000   |          | 0,005000  |          |
| <b>Olii lubrificanti</b><br><i>Lubricating oils</i>              | 0,000200                               |          | 0,000200   |          | 0,001000  |          |
| <b>Olii di tempera</b><br><i>Hardening oils</i>                  | 0,000700                               |          | 0,000800   |          | 0,004000  |          |
| <b>Vapore acqueo</b><br><i>Steam</i>                             | 0,000045                               |          | 0,000050   |          | 0,000250  |          |
| <b>Vapori organici</b><br><i>Organic vapours</i>                 | 0,000009                               |          | 0,000010   |          | 0,000050  |          |
| <b>Aria</b><br><i>Air</i>  | 0,000350                               |          | 0,000400   |          | 0,002000  |          |

*I valori dei fattori di sporcamiento sono stati arrotondati, pertanto i fattori di conversione non sono esattamente rispettati.*

*The values of the fouling factors have been rounded off, consequently the conversion factors are not exactly respected.*

Per ovviare al rischio, la scelta dei materiali adeguati ai fluidi di lavoro, dotati della giusta resistenza chimica alla corrosione, e il corretto dimensionamento dello scambiatore sono fattori fondamentali. In generale, si conviene di calcolare un dimensionamento in eccesso circa del 10% a quanto richiesto dalla duty termica in misura tale da compensare il fouling factor atteso. Anche la velocità di flusso dei fluidi di lavoro incide sul tasso di sporcamento cui uno scambiatore andrà incontro: relativamente a questo punto, l'indice di sporcamento connesso a scambiatori di calore a piastre è nettamente inferiore a quello di scambiatori di calore a fascio tubiero, in virtù della turbolenza maggiore dei fluidi nel tipo a piastre. Tenendo conto di questa differenza, insieme al fatto che i coefficienti di trasferimento termico di uno scambiatore di calore a piastre sono alquanto diversi da quelli di uno a fascio tubiero (si parla di circa 6000 W/ m<sup>2</sup>K contro 1500 W/m<sup>2</sup>K), il dimensionamento di uno scambiatore a piastre va calcolato impiegando criteri molto diversi da quelli necessari al dimensionamento di uno a fascio tubiero, dove il fattore di sporcamento è molto più alto a causa della bassa velocità che viene a crearsi nei canali.

Avere uno scambiatore le cui superfici sono accessibili, come in caso di scambiatori a piastre ispezionabili, è allora ottimale per procedere con operazioni di disincrostazione anche effettuabili sul luogo stesso dell'impianto (cleaning in place, o CIP). In presenza di fluidi con solidi sospesi di natura fibrosa e liquidi che depositano sostanze insolubili (es. carbonati di calcio per decomposizione termica), uno scambiatore a spirale è la soluzione migliore, in quanto

dotato di singoli canali di controlavaggio (backflushing) dove l'inversione della direzione di flusso provvede autonomamente alla rimozione delle grosse particelle di sporco e dei materiali incrostanti. Sarà opportuno pensare di dotare lo scambiatore con adeguati filtri, a cartuccia o autopulenti, e processi di trattamento chimico o con biocidi dei fluidi, per purificarli quanto possibile da eventuali sostanze che a lungo termine possono compromettere seriamente le prestazioni dello scambiatore di calore.

Infine, chiudiamo questa sezione dedicata agli scambiatori di calore con un utile specchietto riassuntivo che può fare da guida alla scelta tra uno scambiatore di calore a fascio tubiero o a piastre.

## CONFRONTO FRA SCAMBIATORI A PIASTRE E SCAMBIATORI A FASCIO TUBIERO

|                             | Scambiatore a piastre tradizionale | Scambiatore a fascio tubiero |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Incrocio temperatura        | Possibile                          | Impossibile                  |
| $\Delta T$ tra i fluidi     | 1°C (2°F)                          | 5°C (10°F)                   |
| Servizi multipli            | Possibile                          | Impossibile                  |
| Connessioni tubazioni       | Da una sola direzione (sul fusto)  | Da diverse direzioni         |
| Rapporto di scambio termico | 3 - 5                              | 1                            |

|                                 |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| Rapporto di peso in esercizio   | 1   | 3 - 10   |
| Rapporto di spazio              | 1   | 2 - 5  |
| Volume contenuto                | Basso   | Elevato  |
| Saldature                       | Non presenti  | Saldato  |
| Sensibilità alle vibrazioni     | Nessuna   | Sensibile  |
| Guarnizioni                     | Su ogni piastra   | Su ogni distributore   |
| Individuazione perdite          | Facile, all'esterno   | Difficile  |
| Accessibilità per ispezioni     | Su ogni lato della piastra  | Limitata   |
| Tempo necessario per l'apertura | 15 min.<br>(con chiave pneumatica)                                | 60 - 90 min.   |
| Riparazione                     | Facile<br>Si interviene sostituendo le piastre e/o le guarnizioni | Difficile<br>Richiede la chiusura del tubo con conseguente riduzione di capacità |
| Modifiche                       | Di facile attuazione, mediante aggiunta o rimozione di piastre    | Impossibili  |

## SCELTA DELLA CENTRALINA DI TERMOREGOLAZIONE

Una centralina di termoregolazione è un sistema che fornisce un fluido a una temperatura controllata automaticamente in modo continuo, adatto quindi a fornire una regolazione fine delle temperature necessaria in settori quali quello delle materie plastiche o della gomma, il comparto chimico e farmaceutico, ma anche nella power generation e nella compressione di gas, e in genere in ogni ambito industriale dove sia richiesto un controllo preciso delle temperature dei fluidi di lavorazione (ad esempio per favorire determinate reazioni chimiche o per poter utilizzare alcune sostanze coinvolte nella produzione).

Termoregolare un processo industriale è un procedimento che implica cicli di riscaldamento e di raffreddamento, che il sistema alterna seguendo le variazioni di temperatura indotte dalle diverse fasi del ciclo produttivo. Per mantenere una data temperatura, necessaria ai fini della qualità del prodotto finale del processo, la centralina induce pertanto cambi di funzione:

- Riscaldamento
- Raffreddamento
- Mantenimento

Quadro di controllo di una centralina di termoregolazione



Le centraline di termoregolazione sono pertanto in genere complete di sensori e sonde (termostati, flussostati, pressostati e valvole di sovrappressione) che rilevano costantemente temperature e altri stati fisici del processo, resistenze di riscaldamento, scambiatori di raffreddamento e termoregolatori elettronici PID che sia in fase di riscaldamento che di raffreddamento assicurano un costante e preciso controllo delle temperature, spesso anche molto elevate. A seconda delle temperature che una centralina di termoregolazione deve assicurare, questa può funzionare con diversi tipi di fluidi, che vanno selezionati in virtù delle diverse caratteristiche termofisiche possedute. I fluidi più comunemente impiegati, in quanto consentono di lavorare nella maggior parte delle condizioni, sono:

- Acqua calda, fino a 90° C
- Acqua surriscaldata, fino a 140° C
- Olio diatermico, fino a 350° C

Una centralina di termoregolazione è un perfetto esempio di quella che possiamo chiamare SCF, Standard Custom Flexibility, ovvero soluzioni il più possibile standardizzate, per assicurare convenienza nei costi al cliente, ma facilmente adattabili alle esigenze puntuali del suo processo industriale, in quanto ogni commessa ha la sua storia e le sue peculiarità, a livello di range e punti di temperature da assicurare o di esigenze a livello di certificazioni (Atex, Ped, Gost, Rina).

Diverse possono essere le modalità di riscaldamento e raffreddamento adottabili:

#### RISCALDAMENTO:

- Resistenze elettriche corazzate
- Vapore
- Olio diatermico
- Acqua pressurizzata

#### RAFFREDDAMENTO:

- Acqua
- Soluzioni incongelabili
- Aria
- Azoto

Questo tipo di sistemi di termostatazione impiega termoregolatori elettronici semplici, del tipo PID, ma per esigenze più sofisticate si ricorre a sistemi di controllo più

complessi tramite PLC: si tratta di sistemi di controllo locali che in base a set point e parametri impostati possono gestire in autonomia e da remoto i sistemi hardware asserviti di riscaldamento e raffreddamento.

Negli ultimi anni, con lo sviluppo di sistemi globali sempre più complessi, si incontra sempre di più l'esigenza di trovare soluzioni che lasciando l'hardware in locale, consentano di gestire in maniera integrale e da remoto il processo e i diversi parametri che lo regolano, in modo da ottenere un monitoraggio sempre più efficace e proattivo, in grado di gestire e ottimizzare le regolazioni in tempo reale.

I sistemi di termoregolazione della serie STB TREG Smart Thermoregulating Box sono stati sviluppati proprio per rispondere a questo tipo di esigenza. Si tratta in pratica di classiche unità di termoregolazione che, abbandonando sistemi locali di gestione (ma lasciando ovviamente in locale tutte le sicurezze), si affidano alla ritrasmissione dei dati tramite morsettiere intelligenti, per poter gestire in maniera completa e integrata tutti i punti e i parametri da un'unica postazione remota, realizzando veri e propri network della termoregolazione.

Pensando in ottica di risparmio energetico, secondo il principio che vogliamo abbracciare che l'energia risparmiata è quella che non viene prodotta, è inoltre possibile pensare a centraline di termoregolazione appositamente studiate, che sfruttino cascami di energia termica esausta, provenienti ad esempio dai vapori prodotti dai processi produttivi, che possono

TREG STB Smart  
Thermoregulating Box:  
Termoregolatore  
per fluidi a controllo  
remoto



essere impiegati per riscaldare e termoregolare fluidi a temperature più basse o contenute, evitando il ricorso a sezioni di riscaldamento elettrico e ai consumi energetici connessi.

## CENTRALINE CON RISCALDAMENTO A OLIO DIATERMICO

Più che per le altre tipologie, la progettazione di una centralina di termoregolazione a olio diatermico richiede una serie di precauzioni e attenzioni, al fine di garantire un funzionamento sicuro e una resa ottimale del

sistema, e per effettuare una scelta adeguata e ottimale dei componenti. Questo genere di centraline opera generalmente a pressione atmosferica, con sistemi a vaso di espansione aperto; negli impianti di grande potenza, non è raro trovare soluzioni con vaso di espansione chiuso pressurizzato. Le centraline a vaso aperto sono impiegate nella stragrande maggioranza dei casi, distinte a loro volta in due tipologie termodinamiche, una con olio diatermico compreso tra 180 e 200°, un'altra fra 200 e 350°.

## **SCelta DELLE RESISTENZE ELETTRICHE**

A condizioni di alta temperatura, poco incide a livelli di costo e selezione dei componenti la voce resistenze elettriche, ma è importante che queste abbiano carichi specifici bassi per non deteriorare l'olio diatermico, ed è opportuna la presenza di un tronchetto inerte, per non trasmettere calore alla scatola delle connessioni elettriche.

Indispensabile anche un termostato di sicurezza di alta temperatura.

## **SCelta DELLE VALVOLE**

Meglio optare per valvole con soffiello di tenuta, che possano minimizzare i rischi di perdite accidentali.

In condizioni di lavoro a temperature superiori, condizioni che rendono piuttosto impegnativa una centralina, è invece opportuno scegliere con attenzione quali pompe di circolazione e scambiatori sono più indicati e performanti.

## **SCelta DELLE POMPE DI CIRCOLAZIONE**

Per piccole e medie portate con olio diatermico oltre i 200°, è conveniente scegliere pompe a trascinamento magnetico, che evitano di preoccuparsi della tenuta meccanica, mentre per portate elevate occorre fare ricorso a pompe speciali flussate con tenute meccaniche resistenti alle alte temperature.

## **SCelta DEGLI SCAMBIATORI**

Per un impiego ad alte temperature, scambiatori saldobrasati nickel, d, sono la scelta ottimale. Per le connessioni è sicuramente meglio evitare raccordi filettati, le dilatazioni termiche portano a sicure perdite di olio. E' quindi preferibile ricorrere esclusivamente a saldature o flangiature, e guarnizioni in grafite rinforzata o spirometalliche.

## **COIBENTAZIONE E PUNTO DI AUTOACCENSIONE**

E' meglio evitare il ricorso a isolanti capaci di assorbire eventuali perdite e trafilamenti di olio, che è invece opportuno siano liberi di scaricarsi in vasche di raccolta. Meglio piuttosto fare a meno dell'isolamento nelle zone a rischio: qualora l'olio ad alta temperatura finisca nei pori del materiale isolante, si innesca infatti il processo di ossidazione, che aggiungendo calore a quello già presente nell'isolamento contribuisce ad aumentare la temperatura

dell'olio, con rischio che superi il punto di autoaccensione dell'olio diatermico, con sviluppo immediato di incendi. Il punto di flash e di fiamma di un olio diatermico sono rispettivamente i valori di temperatura ai quali i vapori prodotti da un olio si incendiano o producono una fiamma continua a contatto con una fonte di accensione (fiamma di gas o arco elettrico). Il punto di autoaccensione è quel valore al quale un fluido di scambio termico si incendia spontaneamente a contatto con l'aria, senza altre fonti di accensione.

Il vaso di espansione in centraline a vaso aperto deve essere inoltre posto a debita distanza dalle tubazioni di utilizzo (o in alternativa è bene che il tubo di collegamento sia opportunamente raffreddato), affinché l'olio nel vaso sia a temperature inferiori a 65/70° C, evitando fenomeni di ossidazione a contatto con l'aria e cracking dell'olio, con perdita delle sue caratteristiche e possibile intasamento degli impianti.

## **RAFFREDDAMENTO**

Sistemi misti di raffreddamento sono inoltre auspicabili per rendere affidabili cicli di raffreddamento piuttosto importanti.

## **GESTIONE DEGLI SFIATI D'ARIA DELL'IMPIANTO**

E' importante infine, per il buon funzionamento e l'affidabilità a lungo termine di un impianto di

termoregolazione a olio diatermico, che non vi siano bolle d'aria nel circuito dell'olio ad alta temperatura, in quanto questo porta a fenomeni di cavitazione che danneggiano le pompe e i componenti dell'impianto, causando oltre tutto una pessima regolazione della temperatura. E' pertanto opportuno, prima di far partire la centralina a pieno regime, effettuare cicli di sfiato dell'aria facendo girare a vuoto la pompa di circolazione, facendo salire la temperatura fino a 100° C e continuando con cicli a vuoto incrementando la temperatura a step successivi, fino ad assicurarsi che non vi sia più aria presente nell'impianto. Come visto in anni di esperienza sul campo, il 90% dei problemi riscontrati in fase di avviamento di impianti a olio diatermico sono infatti sempre dovuti a una scorretta gestione degli sfiati d'aria.

## **SCELTA DEL GRUPPO FRIGORIFERO O CHILLER**

I chiller sono gruppi frigoriferi, macchine termiche per il raffreddamento di fluidi impiegate largamente nella climatizzazione degli ambienti, sia in ambito domestico che di lavoro, una comodità molto diffusa nelle nostre case e negli uffici nel periodo estivo. I gruppi frigoriferi sono però anche largamente impiegati nell'industria, in quanto consentono di poter fornire acqua refrigerata, a bassa temperatura, permettendo in alcuni casi di scendere a livelli anche molto inferiori allo zero.

Nel condizionamento, per impianti di piccole dimensioni sono sufficienti condizionatori a espansione diretta di freon, anche detti split o multisplit, nei quali non è necessario

utilizzare l'acqua (non sono quindi dei chiller), mentre per impianti di dimensioni importanti servono soluzioni più complesse, che prevedono anche il trattamento dell'aria primaria di ricambio oltre all'installazione di unità locali di raffrescamento, consistenti in fan coil alimentati da acqua gelida fornita dai gruppi frigoriferi. Il raffrescamento dell'aria deve essere accompagnato da un effetto di deumificazione, che tolga l'umidità dell'aria che suscita una percezione ancora più pesante della calura. Per questo gli impianti di condizionamento asserviti da chiller sono alimentati con acqua in ingresso a 7° C (per ottenere un ritorno di 12° C), che è la temperatura di rugiada alla quale si forma condensa sulle batterie dei fan coil, processo attraverso il quale avviene l'essiccamento dell'aria. Tale processo di deumificazione rende anche superfluo raffreddare eccessivamente l'aria, con notevole risparmio in termini di energia.

Il processo di deumificazione non è invece richiesto per chiller che servano al raffreddamento di processi industriali, dove pertanto può essere sufficiente acqua di raffreddamento a temperatura anche superiore, ad esempio a 15° C, caratteristica che consente di impiegare un chiller più piccolo.

I chiller sono infatti macchinari piuttosto energivori: pertanto, nell'obiettivo di ridurre al minimo i consumi energetici e i costi di esercizio, conviene ragionare opportunamente e giocare d'astuzia per capire laddove si possono evitare inutili sprechi. Partiamo dal fatto, fondamentale, che variazioni nelle temperature e nelle condizioni ambientali possono portare un chiller a rendimenti molto diversi.

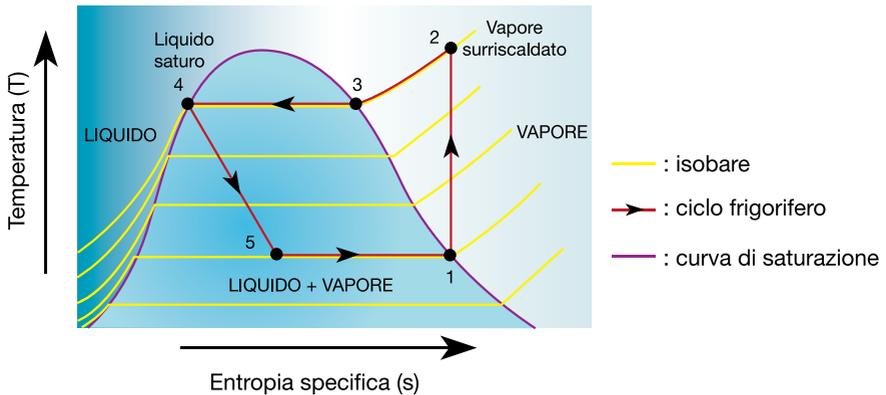
Per selezionare un gruppo frigorifero che serva un processo industriale, occorre innanzitutto tenere conto della temperatura desiderata del fluido in uscita e della temperatura del fluido di condensazione, che sia acqua o aria. Infatti, minime variazioni in questi due elementi, a parità di potenzialità termica necessaria al processo produttivo, portano a sensibili variazioni nella potenza elettrica assorbita dal chiller.

Per semplificare, possiamo riassumere con questo schema: a parità di resa frigorifera, un chiller è più piccolo, ovvero richiede una potenza elettrica assorbita minore, quando deve fornire acqua refrigerata a una temperatura superiore e/o con una temperatura ambientale (ovvero di condensazione) inferiore. Al contrario, il chiller è più grande, quindi richiede maggiore potenza elettrica, quando sempre a parità di resa frigorifera deve fornire acqua più fredda e/o con una temperatura ambientale superiore.

Nella tabella seguente possiamo vedere le variazioni di resa di un determinato gruppo frigorifero, al variare della temperatura ambientale e/o della temperatura dell'acqua fredda fornita.

|          |                           |    | Ambient Air Temperature |        |        |        |        |        |
|----------|---------------------------|----|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Model    | Process water temperature |    | 77°F                    | 77°F   | 86°F   | 95°F   | 104°F  |        |
| Model    | Process water temperature |    | 25°C                    | 30°C   | 35°C   | 40°C   | 45°C   |        |
| Tchill31 | 23                        | -5 | kcal/h                  | 41.108 | 38.270 | 35.518 | 32.508 | 29.670 |
|          |                           |    | kW                      | 47,80  | 44,50  | 41,30  | 37,80  | 34,50  |
|          | 32                        | 0  | kcal/h                  | 50.310 | 46.698 | 43.430 | 40.248 | 36.550 |
|          |                           |    | kW                      | 58,50  | 54,30  | 50,50  | 46,80  | 42,50  |
|          | 41                        | 5  | kcal/h                  | 60.200 | 56.330 | 51.600 | 48.160 | 45.150 |
|          |                           |    | kW                      | 70,00  | 65,50  | 60,00  | 56,00  | 52,50  |
|          | 45                        | 7  | kcal/h                  | 64.500 | 61.060 | 56.760 | 51.600 | 48.160 |
|          |                           |    | kW                      | 75,00  | 71,00  | 66,00  | 60,00  | 56,00  |
|          | 50                        | 10 | kcal/h                  | 71.122 | 66.650 | 62.350 | 58.480 | 54.180 |
|          |                           |    | kW                      | 82,70  | 77,50  | 72,50  | 68,00  | 63,00  |
|          | 59                        | 15 | kcal/h                  | 83.420 | 78.690 | 74.820 | 68.800 | 66.220 |
|          |                           |    | kW                      | 97,00  | 91,50  | 87,00  | 80,00  | 77,00  |

I gruppi frigoriferi a compressione funzionano utilizzando dei gas frigoriferi di vario tipo, come freon e ammoniaca: il gas viene messo in circolazione tramite un compressore volumetrico, che lo fa evaporare e condensare, consentendo in questo modo di asportare e dissipare calore. Il tipico ciclo frigorifero lo si può vedere raffigurato nella seguente immagine:



- 1 - 2: Compressione del vapore
- 2 - 3: Raffreddamento del vapore surriscaldato nel condensatore
- 3 - 4: Condensazione del vapore
- 4 - 5: Raffreddamento del liquido
- 5 - 1: La miscela liquido+gas è completamente vaporizzata nell'evaporatore

La condensazione in un chiller è assorbita da scambiatori di calore in funzione di condensatori, e può avvenire con scambiatori ad aria o ad acqua.

## CHILLER CONDENSATI AD ARIA

La scelta di questo tipo di chiller è indicata per impianti di piccola potenzialità, in quanto non comporta consumi di acqua e altre utility connesse per il suo approvvigionamento e trattamento. Inoltre, la scelta di un chiller con ciclo di condensazione ad acqua comporta impianti più complessi e delicati da gestire.

## CHILLER CONDENSATI AD ACQUA

La condensazione ad acqua è preferibile in caso di gruppi frigoriferi a elevata potenzialità e per produrre soluzioni incongelabili a temperature ampiamente sotto lo zero. Escludendo dispendiosi e insostenibili consumi di acqua di rete, i chiller condensati ad acqua vanno asserviti con torri evaporative, che forniscono l'acqua di ricircolo per alimentare i condensatori: questa ha inoltre un bilancio energetico assolutamente favorevole se confrontato all'elevato consumo di elettricità dei ventilatori che equipaggiano i chiller condensati ad aria.

L'aria inoltre nella stagione calda è soggetta a forti variazioni di temperatura, che influiscono sensibilmente sul ciclo di condensazione del chiller, abbassandone le prestazioni.

Per chiller il cui circuito di raffreddamento venga condensato ad acqua, è possibile però anche optare per una soluzione che unisce la torre evaporativa, che assicura l'approvvigionamento dell'acqua, e il condensatore: si tratta dei condensatori evaporativi,

che hanno uno scambiatore a serpentina al posto dei pacchi di riempimento della torre, raffreddando per condensazione il fluido refrigerante sfruttando lo stesso processo di evaporazione tipico delle torri evaporative (per maggiori dettagli, si veda più avanti il paragrafo dedicato al condensatore evaporativo nel capitolo sulle torri evaporative). Se ricorrere a un condensatore evaporativo è una buona opzione per impianti di grossa potenzialità, diventa una scelta obbligata per impianti di refrigerazione che superano i 500/700 kW e dove le potenzialità termiche da smaltire diventano superiori ai 1000 kW. Tipicamente parliamo di applicazioni nel settore del ghiaccio e dell'alimentare:

- Produzione di ghiaccio
- Conservazione alimentare
- Stagionatura salumi
- Piste di ghiaccio
- Maturazione frutta e vegetali
- Produzione insaccati e carni

## **CONSIGLI DI MANUTENZIONE, INSTALLAZIONE E RENDIMENTO DI UN CHILLER**

Trattandosi di macchine che devono assicurare il freddo, buon senso vuole che il posto ideale per installare un gruppo frigorifero (o una torre evaporativa) sia all'ombra, o almeno non in un luogo pienamente assolato. Infatti, come già detto, il rendimento dei chiller varia sensibilmente all'aumentare della temperatura

dell'aria esterna, incidendo molto sui consumi elettrici addizionali necessari per raggiungere la stessa resa di progetto: a parità di energia assorbita dal compressore, si avrà infatti una potenzialità termica che decresce proporzionalmente all'aumentare della temperatura.

## **PARTENZA A CALDO DEI GRUPPI FRIGORIFERI**

Una postilla finale fondamentale riguarda il funzionamento dei gruppi frigoriferi nel periodo invernale. Questi vanno sempre tenuti sotto tensione, in quanto il compressore frigorifero contiene una resistenza di riscaldamento dell'olio, che ha lo scopo di mantenerlo fluido per garantire la necessaria lubrificazione delle parti del motore anche all'avviamento in climi rigidi. Per apparecchiature più complesse, questa soluzione non è però sufficiente, e servono allora sistemi Hot Start, che mantengono il fluido lubrificante alla corretta temperatura di utilizzo.

## **SCELTA DEL SISTEMA DI FREE COOLING O DRY COOLER**

Vorremmo aprire il capitolo sul free cooling, o raffreddamento intelligente dei processi, con una sorta di assioma: la prima energia che si può recuperare è quella che non si consuma. E il free cooling è proprio un'opzione di raffreddamento industriale a risparmio energetico: si tratta di macchine termiche molto

semplici, uno scambiatore ad aria come radiatore abbinato a un ventilatore, che consentono di ottenere freddo a basso costo per termoregolare fluidi in circuito chiuso, per evitare o almeno limitare il più possibile il ricorso ai chiller, energeticamente molto esosi, e alle torri di raffreddamento, molto impegnative a livello di manutenzione e per i consumi di acqua associati. Un sistema di free cooling si compone di:

- Batteria a pacco alettato
- Tubi in rame e alette in alluminio
- Casette/carpenterie in lamiera di acciaio zincata o verniciata
- Gambe di supporto
- Plenum di distribuzione aria
- Elettroventilatori
- Cassetta di connessione elettrica

I free cooler sono di facile ed economica installazione in esterno, offrono funzionamento flessibile e sicuro e raffreddamento molto efficiente, con basso costo di mantenimento, richiedono solo una pulizia programmata dei pacchi di scambio con aria compressa o acqua, e hanno ridotti consumi energetici, pari a circa 1/8 di quelli richiesti da un chiller. In genere il pacco alettato viene accoppiato con la struttura in acciaio in maniera solidale, quando però l'escursione tra l'aria ambiente e il fluido da raffreddare è molto elevata, è preferibile ricorrere a un pacco flottante, montato su boccole che ne consentono lo scorrimento, per lasciare gioco ai tubi in rame in caso di dilatazione o contrazione, scongiurando il rischio di

rotture indesiderate dei tubi nelle zone di contatto con la struttura di supporto, con conseguenti blocchi di produzione ed elevati costi di riparazione.

## **CONDIZIONI CLIMATICHE E LUOGO D'INSTALLAZIONE**

Similmente a quanto accade con le torri evaporative, anche i sistemi di free cooling legano la propria efficienza termica alle condizioni dell'aria d'ambiente, per cui scegliere un sistema di free cooling sarà molto conveniente se installato in zone fresche, dove l'andamento delle temperature durante l'arco dell'anno permette tempi molto prolungati di utilizzo, potendo lasciare in stand by più a lungo i costosi ed energivori chiller che verrebbero altrimenti impiegati per ottenere freddo. In tali condizioni, i free cooler sono sicuramente la scelta energeticamente più conveniente, laddove non siano richieste temperature di raffreddamento eccessivamente basse. Nello scegliere e installare un sistema di free cooling, occorre pertanto tenere presente in fase di progettazione il luogo di installazione, con corretta valutazione della temperatura ambientale di progetto e il possibile derating del free cooler legato alla densità dell'aria, che diminuisce al crescere dell'altitudine di installazione, e che nel caso richiede l'introduzione di un valore di correzione.

## CARATTERISTICHE DEI FLUIDI

Un sistema di free cooling può essere impiegato per il raffreddamento di diversi fluidi, acqua, acqua glicolata, olii idraulici e diatermici, ma per poter ricorrere a un free cooler è necessario che la temperatura massima del fluido in entrata sia di  $99^{\circ}\text{C}$  e che il punto di congelamento stia almeno 5 gradi K sotto alla temperatura invernale minima del luogo di installazione. In caso di funzionamento ad acqua, infine, i free cooler non presentano alcun consumo di acqua né emissioni di vapore, nessun accumulo di calcare e assenza di contaminazioni batteriche, in quanto il circuito del fluido non è a contatto con l'aria.

L'acqua impiegata è sempre la stessa e la sua qualità è facilmente tenuta sotto controllo, e si evita di doversi sottoporre alle severe regole per lo smaltimento o il condizionamento di acque di scarico.

## TEMPERATURE DI RAFFREDDAMENTO DEI FLUIDI

La scelta di un sistema di free cooling, o in alternativa di un altro sistema di raffreddamento, va quindi ponderata pensando all'importanza del carico termico da smaltire e ai livelli di freddo richiesti dal processo in gioco.

Infatti:

Per raggiungere temperature inferiori a  $25^{\circ}\text{C}$ , sarà opportuno orientarsi su un chiller.

Per temperature superiori a  $25^{\circ}\text{C}$  ma inferiori ai  $35^{\circ}\text{C}$ , andranno bene delle torri evaporative.

Per temperature superiori ai 35° C, la scelta può cadere su free e dry cooler.

Fatte le debite valutazioni ambientali del caso - temperatura aria ambiente e grado di umidità - per la possibilità di impiego delle opzioni 2 e 3, un sistema di free cooling può pertanto essere la soluzione più conveniente e più semplice da gestire in tutte quelle applicazioni dove la temperatura dell'acqua richiesta è superiore a quella d'ambiente per tutto, o quasi tutto, l'arco dell'anno. Ad esempio, acqua alla temperatura di 40° C è sufficiente al raffreddamento dell'olio per presse idrauliche o dell'acqua di raffreddamento dei bagni di spegnimento per trattamenti termici dei metalli, e in tal caso un free cooler è utilizzabile per tutto l'anno. Se invece la temperatura desiderata è più bassa della temperatura ambiente, o di quella comunque di bulbo umido, si può solo ricorrere a un chiller, che permette di raggiungere anche temperature di molto inferiori allo zero.

## **FREE COOLING INTEGRATO**

Una soluzione interessante si può invece prospettare in caso di temperature di raffreddamento intermedie, dove è possibile impiegare un sistema di free cooling durante i mesi più freddi, con il grande risparmio energetico ed economico che questo comporta, mentre per i mesi caldi verrà impiegato un chiller, utilizzandoli insieme nelle mezze stagioni. In tal modo, abbinare un sistema di free cooling integrandolo a un chiller apre significative economie di

gestione, con drastica riduzione del costo energetico del sistema di raffreddamento nel suo insieme. L'installazione in serie di free cooler e chiller funziona in questa maniera: quando la temperatura del fluido da raffreddare in uscita dal sistema è inferiore alla temperatura massima prevista dell'aria d'ambiente, un sistema automatico di bypass, costituito da valvola deviatrice e da un sensore di temperatura, esclude il dry cooler dal circuito, per evitare il passaggio di acqua a temperatura inferiore a quella ambiente al suo interno, evento che porterebbe a un suo riscaldamento con spreco inutile di energia. Nel caso invece la temperatura dell'acqua in arrivo sia sempre superiore alla temperatura ambiente, il free cooler non viene escluso in quanto il passaggio al suo interno porterà comunque nei limiti il proprio contributo al raffreddamento parziale, che verrà poi completato dal chiller.

## **CONVENIENZA DI UN SISTEMA COMBINATO DI FREE COOLING + CHILLER**

La scelta di un sistema combinato free cooling + chiller, in luogo di una singola macchina frigorifera, ha la sua convenienza se il free cooler può dare il suo contributo al raffreddamento, totale o anche solo parziale, per tutto l'arco dell'anno: in tal caso, infatti, il chiller può essere dimensionato con una taglia minore rispetto alla massima potenza di raffreddamento richiesta, con un costo d'impianto pertanto ridotto e una convenienza che va valutata di volta in volta a seconda dell'entità di questo contributo. E' infatti possibile effettuare un confronto di costi tra un chiller, refrigeratore

d'acqua a circuito chiuso frigorifero, e un free cooler, raffreddatore d'acqua ad aria con pacco alettato: a parità di potenzialità termica dissipata, un free cooler costa il 20% in meno e assorbe una potenza elettrica pari a circa il 10% di quella assorbita da un chiller. Risparmio che aumenta all'aumentare della potenza dell'impianto.

## **COSTI ENERGETICI PER IL RAFFREDDAMENTO TERMICO A CONFRONTO**

Mettiamo a questo punto a confronto tre sistemi di raffreddamento in base ai loro consumi di elettricità: torre evaporativa, chiller/gruppo frigorifero condensato ad aria o acqua, e raffreddatore ad aria/free cooler (termosmaltitore).

- Il chiller è la soluzione più dispendiosa a livello energetico: i compressori nel sistema assorbono grandi quantità di elettricità, mentre a parità di duty termica e in uno stesso processo produttivo, le altre due soluzioni assorbono energia elettrica solo per alimentare i ventilatori e le pompe di circolazione, essendo assenti i compressori. Di contro, i chiller consentono però di avere l'acqua a bassi livelli di temperatura, anche molto spinti laddove necessari, per tutto l'arco dell'anno.
- La torre è la soluzione energeticamente meno dispendiosa, ma la resa termica è strettamente legata alle condizioni di temperatura a bulbo umido ambientali, e richiede una gestione impegnativa a livello di manutenzione e prevenzione, consumi e trattamento dell'acqua.

- Il raffreddatore ad aria, o free cooler (termosmaltitore), consente infine notevole risparmio energetico rispetto a un chiller, e non presenta i problemi di gestione della torre, in quanto funziona con un circuito totalmente ermetico, che limita i problemi di manutenzione a una semplice pulizia periodica del pacco di scambio termico. Anche in questo caso, ad ogni modo, la resa termica è legata alle condizioni ambientali esterne e alla stagionalità.

| <b>Soluzione<br/>Caratteristica</b> | <b>Torre<br/>evaporativa</b> | <b>Refrigeratore<br/>Industriale</b> | <b>Termosmaltito<br/>e Free cooler</b> |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Consumo elettrico                   | Ridotto                      | Molto elevato                        | Ridotto                                |
| Consumo d'acqua                     | Elevato                      | Assente                              | Assente                                |
| Consumo d'investimento              | Ridotto                      | Elevato                              | Medio                                  |
| Consumo impiantistico               | Ridotto                      | Molto elevato                        | Minimo                                 |
| Manutenzione                        | Specializzata e permanente   | Specializzata e periodica            | Assente                                |

Fatte queste considerazioni, un sistema combinato di chiller e free cooling, che assicura il lavoro termico nella stagione fredda arrestando il chiller, si profila come la soluzione più performante, meno onerosa e meno impegnativa a livello di manutenzione e a più alto risparmio energetico, soprattutto se il servizio termico di raffreddamento è protratto nel tempo. Per incrementare l'efficienza in termini di risparmio energetico, è possibile a

tal proposito fare ricorso ad alcuni semplici espedienti, che permettono di prolungare nel tempo il servizio dei sistemi di free cooling anche nella stagione più calda, tramite un potenziamento adiabatico del sistema.

## **POTENZIAMENTO ADIABATICO DI UN SISTEMA DI FREE COOLING**

Come già detto, le prestazioni di un sistema di free cooling sono strettamente legate alle condizioni termiche dell'aria d'ambiente esterna, a fattori climatici e geografici, variando nelle prestazioni con l'alternarsi delle stagioni. E' però possibile potenziare i sistemi di free cooling tramite un semplice booster termico, consistente in un sistema adiabatico per l'abbattimento della temperatura dell'aria in entrata, possibile anche in retrofit su un impianto già esistente. A tale espediente è possibile ricorrere per prolungare l'uso del raffreddamento in regime di free cooling anche in mesi in cui l'aumento della temperatura ambiente ne comprometterebbe altrimenti la resa. Si tratta semplicemente di installare dei moduli che vaporizzano acqua sull'aria ambiente in entrata per abbatterne artificialmente la temperatura. In pratica, l'aria viene umidificata con un sistema spray di particelle d'acqua, la cui evaporazione sottrae calore dall'aria abbassandone la temperatura in ingresso di circa  $5/7^{\circ}$  C, lavorando sul calore latente di evaporazione secondo lo stesso principio di funzionamento delle torri evaporative. Questo semplice sistema di potenziamento termico può essere poi escluso al termine della stagione calda. L'acqua che alimenta il

sistema di spray deve essere adeguatamente trattata per non danneggiare né incrostare il pacco di scambio del radiatore/dissipatore, ma sarà ad ogni modo opportuno prendere l'accorgimento di spruzzare acqua solo sulla sezione d'ingresso, evitando di spruzzarla sul pacco di scambio onde evitare possibili intasamenti e fenomeni di clogging. Con la scelta di un simile piccolo accorgimento, si uniscono i vantaggi offerti dai dissipatori a quelli delle torri evaporative:

## **DISSIPATORE**

- Fluido in circuito chiuso
- Nessuno sporco né necessità di trattamento dell'acqua
- Economia di esercizio

## **TORRE**

- Raffreddamento spinto
- Economia energetica, limitando per periodi più prolungati l'uso di chiller
- Fluido a temperatura più bassa di quella ambiente, lavorando sul calore latente di evaporazione

## **AUTOMATIZZARE UN SISTEMA DI FREE COOLING**

A livello di gestione, esistono diversi sistemi per automatizzare/parzializzare un sistema di raffreddamento in free cooling, che permettono anche sofisticati

livelli di regolazione e controllo della temperatura e dell'azionamento dei ventilatori tramite inverter. Per il controllo delle temperature, è possibile distinguere tra un sistema basico e uno più avanzato.

## **AUTOMATIZZAZIONE DI BASE**

L'installazione di un semplice regolatore a doppia sonda consente di verificare la differenza di temperatura tra ambiente e fluido da raffreddare: se l'aria ambiente è più fredda del fluido, lo strumento pilota una valvola a tre vie deviatrice che continua a far funzionare il ciclo di free cooling, mentre quando la temperatura dell'aria è più alta, bypassa il fluido direttamente al chiller.

## **AUTOMATIZZAZIONE AVANZATA**

In caso di esigenze più sofisticate e articolate, è possibile implementare un PLC, che a livello economico oggi è alla portata anche di impianti di dimensioni contenute. Un PLC di base è in grado di gestire molteplici segnali in ingresso e uscita, grazie a un semplice software dedicato, consentendo una gestione sofisticata e personalizzata, ma soprattutto semplificata, del funzionamento del sistema di raffreddamento.

## FREE COOLING INTELLIGENTE

Il controllo degli azionamenti della parte ventilante di un free cooler può avvenire per tramite di sistemi di regolazione intelligente che ottimizzano il rendimento del sistema, sfruttando al meglio la collaborazione in serie tra free cooler e chiller. Si tratta di sistemi di controllo basati su PLC che minimizzano i consumi energetici, con possibilità di implementare i sistemi di raffreddamento adiabatico per incrementare ulteriormente l'efficienza dissipativa, e che impiegano anche motori a commutazione elettronica EC gestiti da controller EC, per una regolazione della velocità molto precisa. I motori a commutazione elettronica vengono infatti gestiti da controller EC, che regolano la velocità di funzionamento dei gruppi di ventilazione in funzione delle esigenze produttive delle utenze asservite, assicurando efficienza energetica elevatissima e nessun rumore elettromagnetico.

Infatti, nelle macchine rotative, ventilatori e pompe, al variare del numero di giri aumenta linearmente la portata, la pressione varia con il quadrato dei giri e la potenza cresce con il cubo del numero di giri. Diminuendo il numero di giri, il controllo EC funziona come un inverter e riduce la potenza assorbita, consentendo enormi risparmi energetici. Fattore che può essere molto significativo su impianti che sono in funzionamento continuo per tutto l'arco dell'anno, come gli impianti di cogenerazione a biogas, ammortizzando in tempi brevi i costi di un ventilatore elettronico, e dove per altro l'energia risparmiata ha un notevole peso, dal momento che ogni KW risparmiato può essere rivenduto al gestore.

Altro elemento che rende interessante l'impiego di motori e azionamenti elettronici, è il fattore rumore: infatti, i free cooler hanno in comune con chiller e torri evaporative la parte ventilante, e dunque il rumore prodotto. Al fine di inserire i free cooler in contesti urbani, si impone allora sempre più la scelta di nuove soluzioni con gruppi di ventilazione silenziosi, abbinati a motori in versione EC che oltre ai sopraccitati risparmi energetici, portano a un considerevole abbattimento del rumore.

## L'IMPORTANZA DELL'ANTIGELO

Per tutti gli impianti di raffreddamento dotati di free cooler, elettroradiatori, dissipatori, scambiatori aria/acqua, aerotermi che dir si voglia, è cruciale e vitale la presenza dell'antigelo in giusta concentrazione nei fluidi circolanti. Al rischio di congelamento e rotture sono infatti particolarmente esposte le batterie degli scambiatori aria/acqua dei sistemi di free cooling, nei quali l'acqua in circolazione forzata nelle tubazioni è sottoposta a notevoli potenzialità di scambio termico e a notevoli masse d'aria movimentata, con rischio molto elevato di congelamento nella stagione invernale. Il ghiaccio, formandosi all'interno del circuito del fluido da raffreddare, può quindi facilmente arrivare a bucare i tubi e squarciare le curvette esterne del circuito, fin dentro al pacco alettato dello scambiatore.

E le riparazioni in tal caso possono essere molto lunghe, laboriose e alquanto costose. Opportuno e doveroso allora aggiungere all'acqua del glicole monoetilenico inibito

come antigelo, additivato di inibitori della corrosione, per intendersi lo stesso prodotto messo nei radiatori delle auto.

## **SISTEMI DI FREE COOLING: UNA PANORAMICA APPLICATIVA**

Raffreddamento di compressori d'aria

Sistemi di dry cooling possono essere la scelta ottimale nel raffreddamento di compressori d'aria, che richiedono livelli di freddo non particolarmente spinti per smaltire il calore ceduto all'olio lubrificante dalle pompe e/o dal movimento meccanico generato da azionamenti idraulici e componenti in movimento, per cui è sufficiente acqua di raffreddamento a 30/40° C. In presenza di scambiatori di interfaccia a bordo del compressore, e di adeguate condizioni climatiche nella zona di installazione, il raffreddamento ideale si ottiene con un raffreddatore a circuito chiuso (evitando di far passare acqua di torre dalle camicie del compressore, con rischio di sporcamento e intasamento delle stesse, ed elevati costi di manutenzione). L'assenza di contaminazione dell'acqua nel circuito del dry cooler è inoltre molto auspicabile in quanto, nelle zone più calde, i compressori raggiungono infatti temperature di parete alquanto elevate, che provocano precipitazioni di carbonati, per cui è opportuno impiegare acqua trattata con antincrostanti per evitare rapidi intasamenti delle camere di circolazione dell'acqua.

## **RAFFREDDAMENTO DI COMPONENTI ELETTRONICI**

Dry cooler possono anche trovare applicazione nel raffreddamento di componentistica elettronica, come inverter di potenza, induttori e convertitori, che in applicazioni industriali pesanti producono potenze e quantità di calore elevate che richiedono sistemi di raffreddamento dedicati ad acqua, demineralizzata o deionizzata e perfettamente filtrata per non intasare la circuitazione di raffreddamento dei componenti. Questi sistemi possono venire interfacciati con scambiatori di calore a piastre, che possono cedere il calore asportato all'aria di raffreddamento del dissipatore/dry cooler (in alternativa a differenti fluidi di raffreddamento provenienti da torre evaporativa o chiller).

## **RAFFREDDAMENTO IN IMPIANTI DI COGENERAZIONE**

Sistemi di free cooling possono trovare largo impiego nei moderni sistemi di cogenerazione: la cogenerazione è un caso particolare di sistema generativo, e consiste in un impianto termoelettrico dove il biocombustibile che alimenta il motore endotermico (gasolio, biodiesel, gas naturale, biogas o biomasse) viene impiegato per la generazione combinata di energia elettrica e calore. Qui radiatori a doppio pacco di scambio possono essere impiegati in regime di free cooling sui motori endotermici degli impianti di cogenerazione, dove il sistema di

free cooling deve raffreddare i due circuiti dell'acqua, quella destinata a dissipare il calore dell'aria immessa nell'intercooler, e quella in circolazione nel motore per il raffreddamento di cilindri, testata e olio. Elettroradiatori e free cooler sono poi impiegabili anche come sistemi di emergenza per la dissipazione del calore sviluppato dal motore endotermico nel qual caso venga meno la necessità di recuperare il calore prodotto. I sistemi free cooling possono infine anche essere una buona scelta in funzione di condensatori di fluido organico con aria tramite dry cooler per impianti di cogenerazione OR C - organic rankine cycle -, mentre lo studio di particolari profili alari e di sistemi di ventilazione consente di lavorare con livelli di rumore contenuti e consumo energetico in linea con le aspettative correlate a un impianto di cogenerazione OR C. Durante la stagione fredda, l'impiego di ventilatori EC può inoltre offrire ulteriori grandi ritorni energetici.

## **RAFFREDDAMENTO NELL'INDUSTRIA DELLE MATERIE PLASTICHE**

Macchine termiche nell'industria della plastica servono per il raffreddamento dei macchinari e di processo, per portare a temperatura di risolidificazione la materia plastica dopo la trasformazione. La maggior parte di frigorifici necessarie per il lavoro complessivo è richiesta dal raffreddamento macchinari, azionamenti oleodinamici, che richiedono olio idraulico mantenuto alla temperatura di 40-50° C, camere di plastificazione, trafilati, mulini: con un livello termico richiesto al di sopra dei 35° C, l'acqua di

raffreddamento è ricavabile da torre evaporativa. L'impiego di chiller e centrali frigorifere condensate ad aria è invece una soluzione energeticamente troppo impegnativa per il lavoro termico richiesto, in quanto questi sistemi sono costretti per loro natura a lavorare con temperature dell'acqua non superiori ai 15- 20° C, eccessivamente basse per il tipo di applicazione. I sistemi di free cooling sono in tal caso un'ottima soluzione a risparmio energetico, rappresentando l'ideale scelta tecnologica per lo scambio termico aria/acqua e per il raffreddamento macchine, capaci di mantenere l'acqua a pochi gradi sopra la temperatura ambiente, in media 5° C se ben dimensionati.

Il raffreddamento di processo necessita invece di condizioni di raffreddamento tali da garantire una riduzione nei tempi di raffreddamento della materia plastica trasformata, che porta un aumento della produttività, unitamente alla ripetibilità delle stesse condizioni. Occorre allora scegliere un sistema capace di mantenere quelle condizioni costanti e precise nel tempo, e l'unica soluzione praticabile è un refrigeratore industriale a compressori frigoriferi, con valvole regolatrici capaci di gestire le varie temperature nei diversi punti del processo per garantire la corretta temperatura laddove serve. Con una buona analisi delle esigenze produttive e delle condizioni ambientali nella zona di installazione, anche in questo caso è però altamente conveniente implementare un sistema di free cooling, magari da utilizzare nella stagione fredda per sfruttare l'aria ambiente a bassa temperatura e arrestare i compressori frigoriferi.

## RAFFREDDAMENTO DI TELAI TESSILI

Chiudiamo il capitolo sul free cooling con un ultimo esempio applicativo, ovvero scambiatori di calore in free cooling impiegati per il raffreddamento di telai industriali: le sale telai negli stabilimenti tessili richiedono livelli di condizionamento con temperatura e umidità controllate, per garantire una produzione veloce e costante (in ambiente troppo asciutto i fili sono a rischio rottura, mentre l'eccessiva umidità rovina il prodotto), considerato anche il calore prodotto dai circuiti idraulici delle macchine da tessitura che si disperde nell'ambiente. In genere, il condizionamento tradizionale viene fatto impiegando aria e radiatori locali, soluzione che va a incidere pesantemente sul carico termico degli impianti di condizionamento e sull'energia assorbita dai compressori frigoriferi dedicati. Tale calore può invece venire convogliato all'esterno delle sale, veicolandolo fuori dal processo produttivo tramite un fluido di raffreddamento, e dissipato poi con torri evaporative o scambiatori di calore in regime di free cooling, appunto, alleggerendo il carico dei compressori frigoriferi dei chiller dedicati al condizionamento delle sale telai, con notevole riduzione nel dispendio energetico.

## SCELTA DELLA TORRE EVAPORATIVA

Le torri di raffreddamento evaporative sono macchine molto semplici dalla elevata efficienza termica, studiate per lavorare ininterrottamente tutto l'anno e durante l'intero arco della giornata, dissipando grandi quantità di calore a

fronte di un modesto consumo di energia, limitatamente alla movimentazione dell'aria e al circuito di alimentazione dell'acqua. Sono un'ottima scelta in numerosissime applicazioni industriali, ovunque ci siano processi nei quali è sufficiente ottenere acqua di raffreddamento a temperature medie di +30 / 35° C, livelli termici poco spinti sufficienti in diversi impianti produttivi quali:

- Piccole officine meccaniche
- Stamperie
- Piccole forge
- Trafilerie di materie plastiche
- Impianti petrolchimici
- Centrali di produzione di energia

In questi come in molti altri casi, infatti, impiegare un gruppo frigorifero o un chiller è una scelta decisamente eccessiva ed energeticamente troppo dispendiosa considerati i livelli di raffreddamento modesti che sono richiesti. Le torri evaporative sono anche la soluzione ideale adottata negli impianti di raffreddamento, per ricircolare acqua fredda che alimenta i condensatori dei gruppi frigoriferi, tipicamente nei grandi impianti tecnologici residenziali, commerciali o ospedalieri, dove le potenzialità richieste da dissipare sono elevate.

Esistono diversi tipi di torri evaporative, funzionanti comunque tutte sullo stesso concetto di base: sottrazione di calore per evaporazione di acqua. Esistono torri:

- Indotte, con ventilatori in aspirazione
- Forzate, con ventilatori in mandata

- Counter flow, con flussi di acqua e aria in controcorrente
- Cross flow, con flusso di acqua e aria a correnti incrociate

La tipologia counter flow, che sia in aspirazione o in mandata, resta quella più efficiente.

## **TORRI VS RADIATORI , EVAPORAZIONE CONTRO RAFFREDDAMENTO AD ARIA**

Fino alla prima metà degli anni ottanta circa, l'impiego di acque superficiali, di falda o acquedotto, per il raffreddamento dei processi era pratica diffusa e piuttosto spregiudicata. Il problema dell'impoverimento delle acque, dell'inquinamento termico delle acque di superficie e l'accresciuta attenzione all'ambiente hanno portato all'assunzione di circuiti di raffreddamento chiusi, nei quali l'acqua viene raffreddata da chiller. Per una questione di risparmio energetico, per il raffreddamento dei condensatori dei chiller si è così cominciato a fare ricorso ad acqua di torre, che non produce inquinamento delle acque superficiali e rappresenta un grande vantaggio economico rispetto al raffreddamento ad aria, più costoso e meno efficiente soprattutto nel caso di impianti di potenzialità elevata: rispetto a una condensazione ad aria, infatti, le torri consentono di ottenere una temperatura di condensazione inferiore in media di circa 10° C, il che comporta un risparmio del 20% nel consumo di energia. Questo è dovuto al fatto che mentre un radiatore per raffreddare dipende dalla temperatura ambiente, una torre evaporativa dissipa calore in base al principio

dell'evaporazione, facendo pertanto riferimento alla temperatura di bulbo umido.

## **DEFINIZIONE DELLA TEMPERATURA DI BULBO UMIDO DI PROGETTO**

La temperatura di bulbo umido è la combinazione tra temperatura ambiente e umidità relativa dell'aria, al variare della quale varierà molto il grado di raffreddamento ottenibile da una torre: definire la temperatura di bulbo umido a cui la torre si troverà a lavorare è pertanto un elemento chiave in fase di progetto. La temperatura di bulbo umido rappresenta, in altre parole, la temperatura teorica limite a cui l'acqua può essere raffreddata, laddove la temperatura in uscita effettiva si assume come all'incirca di 3-5° C superiore alla temperatura di bulbo umido stabilita a progetto. Così, mentre in un condensatore o raffreddatore ad aria l'efficienza termica dipende dalla temperatura ambiente, per una torre evaporativa il valore di riferimento è la temperatura di bulbo umido, che misura la massima quantità di vapore che l'aria che circola nella torre può raccogliere, e quindi fornisce la misura dello scambio termico che realizza con l'acqua.

Dal momento che la temperatura di bulbo umido è in media da 4 a 6° C inferiore alla temperatura ambiente, le torri evaporative sono più efficienti come macchine termiche di raffreddamento di un tradizionale radiatore. Per ogni kg di acqua evaporata, una torre evaporativa disperde in media 600 Kcal/h, con consumo di acqua che

è pertanto direttamente proporzionale alla potenzialità dissipata.

Nei periodi in cui la temperatura di bulbo umido scende al di sotto dei 10° C (come avviene spesso per gran parte dell'inverno e per buona parte della primavera e dell'autunno), la torre produce acqua fredda a 15° C, largamente sufficiente a soddisfare la maggior parte delle esigenze dell'industria di processo. In genere, il dimensionamento di una torre evaporativa viene fatto nella prospettiva di smaltire la maggiore potenzialità termica di progetto nelle condizioni ambientali peggiori, ovvero quelle che si verificano nei periodi più caldi e umidi, quindi con temperature di bulbo umido più elevate. Il funzionamento della torre resta così assicurato anche nei momenti meno caldi della giornata e nei mesi più freddi, con semplici controlli termostatici che accendono e spengono i ventilatori in funzione del raggiungimento della temperatura necessaria, oppure con l'installazione di inverter comandati da regolatori elettronici controllabili per i ventilatori. Esistono studi con analisi delle temperature di bulbo umido per determinate città, addirittura con rilevazioni eseguite ogni ora di ciascun giorno, nel periodo più caldo dell'anno, per un arco temporale di 10 anni. Il progetto, condotto da una grande casa americana produttrice di torri evaporative, ha portato alla compilazione di una utilissima tabella disponibile online, ottima base per progettare torri di raffreddamento.

Una adeguata definizione delle temperature ambientali di progetto garantisce la massima resa in una torre, calcolabile come il rapporto tra il salto termico effettivo

conseguito e quello massimo teorico che si potrebbe ottenere calcolandolo sulla temperatura di bulbo umido di progetto.

## TRATTAMENTO DELLE ACQUE E MANUTENZIONE

A fronte della semplicità e dell'efficacia nella resa, le torri evaporative richiedono però cure e attenzioni particolari nella gestione, soprattutto relativamente al trattamento e al condizionamento chimico dell'acqua di torre, che porta facilmente a fenomeni di incrostazioni e formazioni biologiche. In caso di torri a circuito aperto, infatti, l'acqua a contatto con la luce e con l'aria esterna è esposta a inquinamento e formazione di muffe, alghe e mucillagini.

Per risolvere il problema è sufficiente predisporre un semplice ma ben dimensionato sistema di dosaggio di prodotti chimici, che comprendono anti incrostante, disperdente, che mantiene in sospensione il calcare e i carbonati, e alghecidica, che previene la formazione di mucillagini e alghe che si possono formare in presenza di esposizione alla luce e al calore.

Inoltre, a causa del naturale consumo di acqua per evaporazione, è necessario effettuare il reintegro dell'acqua persa, ma ciò non è sufficiente, in quanto l'evaporazione stessa porta all'aumento della concentrazione di sali e carbonati nella restante acqua, rendendo pertanto necessaria la presenza di un sistema di spurgo: l'aumento di sali e carbonati determina infatti incrostazioni che riducono la sezione dei tubi di passaggio dell'acqua, abbassando il coefficiente di scambio termico.

A risentirne sono però anche i condensatori dei chiller e gli scambiatori posti a valle e serviti dalla torre, che a causa dei depositi di carbonati subiscono un decadimento molto importante delle prestazioni. Sono allora possibili due sistemi di spurgo, uno spurgo continuo o un sistema di spurgo automatico con sonda di conducibilità, preposto a misurare la concentrazione di sali nell'acqua di torre. L'acqua spurgata deve essere compresa tra lo 0,3% e il 4% dell'acqua di portata circolante, in relazione alla durezza dell'acqua.

Un'adeguata manutenzione di una torre evaporativa impone quindi una periodica sanificazione e lavaggio della torre, verifica antilegionella, con analisi delle acque in laboratorio, e controllo-applicazione di un sistema di dosaggio e di spurgo automatico. In sintesi, un sistema ideale di trattamento e condizionamento dell'acqua in una torre dovrebbe comprendere:

- Una pompa dedicata al disperdente anti-incrostante per il calcare
- Una pompa dedicata all'alghicida
- Un sistema con elettrovalvola di spurgo automatico
- Una centralina di gestione con monitoraggio della conducibilità tramite sonda

In caso di acqua particolarmente 'dura', si consiglia l'installazione di un addolcitore.

Consumi di acqua in una torre evaporativa

Le torri evaporative di raffreddamento consumano acqua, a causa delle perdite dovute a tre fattori:

- Evaporazione
- Trascinamento
- Spurgo

Il primo punto è dovuto al principio stesso di funzionamento termodinamico di questo genere di macchina termica, dove infatti il raffreddamento dei fluidi di lavoro è ottenuto per asportazione di calore tramite evaporazione dell'acqua di torre. Mentre è impossibile evitare di perdere una percentuale di acqua sotto forma di vapore acqueo, è invece possibile fare scelte opportune per ridurre quanto possibile le perdite per trascinamento e spurgo. Il valore dell'acqua persa per trascinamento dipende dalla velocità di espulsione dell'aria, e dall'efficienza dei separatori di gocce che stanno a valle (rispetto al flusso dell'aria) del banco ugelli di distribuzione. Separatori di gocce di ultima generazione sono in grado di limitare le perdite per trascinamento sotto lo 0,05% della portata totale dell'acqua raffreddata da una torre. La quantità dell'acqua di spurgo dipende invece molto dalla qualità dell'acqua di reintegro e dalla bontà del tipo di trattamento e condizionamento dell'acqua. Si può con buona approssimazione calcolare la quantità di acqua di spurgo come pari alla quantità di acqua persa per evaporazione. Il consumo di acqua di una torre evaporativa si può quindi considerare come la somma tra l'acqua persa per trascinamento più due volte le perdite per evaporazione.

## ANALISI CHIMICA DELL'ACQUA

Per limitare al minimo la manutenzione, e ridurre i consumi di acqua per lo spurgo, occorre valutare il tipo di trattamento più adeguato da adottare per la propria torre. Sarà pertanto opportuno procedere a un'analisi chimica dell'acqua che la torre sfrutterà. Se l'acqua rientra nei seguenti parametri, sarà sufficiente un semplice trattamento chimico antincrostante e biocida.

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| Durezza:       | 10÷35 °F             |
| Alcalinità:    | 100÷350 ppm          |
| Cloruri:       | 10÷500 ppm           |
| Ferro:         | < 0,3 ppm            |
| Conducibilità: | < 1.000 microSiemens |
| PH:            | 6,8÷8                |

Se invece la durezza dovesse essere superiore a 35 °F, occorre addolcire l'acqua, o in alternativa ricorrere a un condizionante facendo molta attenzione allo spurgo e ai cicli di concentrazione che può influenzare. Per valori dei cloruri che superano i limiti soglia, 600-700 ppm, ci troviamo di fronte probabilmente ad acque salmastre, e aumenta quindi il rischio di corrosione: servono allora forti anticorrosivi, o una scelta oculata dei materiali di costruzione.

Un alto contenuto dei sali aumenta la conducibilità, e in tal caso occorre individuare quale dei sali presenti concorre all'incremento del valore per scegliere il trattamento più mirato. Livelli di ferro di molto superiori a 0,3 ppm potrebbero rendere opportuno un deferrizzatore, mentre

un più elevato valore del PH indica con grande probabilità la presenza di acqua inquinata: soprattutto in caso di macchine zincate, si deve fare attenzione che il valore del PH non superi 9÷9,2.

## **CONSUMI GENERALI DI ENERGIA**

Le torri evaporative consumano modeste quantità di energia elettrica, necessaria per assicurare la ventilazione e il ricircolo di aria e acqua all'interno della struttura, quantità che sono comunque drasticamente inferiori a quelle richieste da un condensatore ad aria. Questi consumi possono essere ulteriormente ridotti attraverso la progettazione più adeguata al tipo di installazione, cosa che in impianti di grandi dimensioni può arrivare a significare ingenti risparmi.

Ciò si ottiene ovviamente forzando il meno possibile la ventilazione, che porta sempre con sé bollette salate, e invece di intervenire sulla portata dell'aria, per aumentare lo scambio termico e l'efficienza è invece opportuno andare ad aumentare la superficie di scambio. Si ottiene così anche il vantaggio di poter diminuire la velocità dell'aria in uscita, con riduzione delle perdite d'acqua per trascinamento e anche minore rumorosità, altro fattore da considerare quando si sceglie questo genere di macchina termica.

Sul mercato esistono torri classiche in cemento per impianti mediograndi, dove la forma induce un naturale tiraggio dell'aria dal basso verso l'alto, provvedendo alla circolazione dell'aria nella torre, e queste richiedono come già detto manutenzione costante e controllo delle acque.

Nel caso di torri evaporative con ventilatori forzati, spesso ci si trova nella vantaggiosa situazione in cui l'acqua qui non è a contatto con la luce, e questo limita enormemente il problema della formazione di alghe, diminuendo l'impegno relativo al trattamento delle acque, mentre rimane l'esigenza di effettuare lo spurgo per ovviare al fenomeno di concentrazione dei sali. Questo tipo di torre resta dunque una soluzione economica e a basso consumo energetico, con ottima efficienza di raffreddamento, ed è inoltre facilmente accessoriabile con l'installazione di scambiatori a piastre e pompe di ricircolazione, che separino il circolo delle utenze dal circuito acqua fredda. Infatti, se in generale il fluido refrigerante da raffreddare deve rimanere incontaminato, non conviene usare acqua di torre direttamente per raffreddare le utenze di processo, in quanto difetta in pulizia e può sensibilmente ridurre gli intervalli temporali fra un intervento di manutenzione e l'altro. Per sfruttare allora al meglio l'effetto di free cooling offerto dalle torri evaporative conviene allora interporre tra le utenze e l'acqua di raffreddamento di torre degli scambiatori di calore a piastre, che separino fisicamente i due circuiti. Questa scelta è preferibile anche all'installazione di un raffreddatore evaporativo, che sebbene sia una macchina monoblocco e più semplice, pone problemi di pulizia seri quando si tratta di rimuovere le incrostazioni dal serpentino interno. Incrostazioni che, in una torre evaporativa a circuiti separati dalle utenze, si concentrano sullo scambiatore, che è invece facilmente smontabile e lavabile, o sul pacco di scambio che pure si sostituisce velocemente.

Per i moderni impianti di piccola o anche media potenzialità, sempre più spesso i progettisti orientano le proprie scelte su torri standard di tipo package, che essendo modulari, possono arrivare a coprire capacità termiche elevate offrendo nelle installazioni più moderne diversi vantaggi:

- Flessibilità di utilizzo
- Manutenzione semplice
- Tempo di ritorno dell'investimento ridotto
- Maggiore trasparenza nella valutazione dei costi
- Installazione rapida
- Tempi di cantiere quasi inesistenti (o comunque ridotti alla realizzazione della sola vasca in c.a.)
- Gestione e contenimento del rumore più facile

Per contro, questo tipo di torre richiede che venga installata una maggiore potenza elettrica, con un maggior numero di ventilatori installati al posto di uno unico e più grande. Con un numero maggiore di unità di ventilazione, è però possibile pensare a una gestione a gradini, fermandone alcuni e riducendo a zero il consumo relativo a seconda delle condizioni ambientali e atmosferiche e delle diverse ore del giorno. Una torre package è infine anche molto più semplice e veloce da smontare nel caso di smantellamento che non una grande torre classica con struttura in cemento.

## SCELTA DEI MATERIALI

Come accade per i condensatori evaporativi e i raffreddatori evaporativi, le torri refrigeranti evaporative sono spesso studiate per lavorare in ambienti umidi e aggressivi, e pertanto devono essere costruite in materiali resistenti alla corrosione: materiali plastici come resine rinforzate resistono molto bene alla corrosione, ma infragiliscono se esposti agli agenti atmosferici e a condizioni operative estreme. Rivestimenti protettivi come lamiera in acciaio zincato sono un'altra soluzione, ma non adeguati per tutti i componenti chimici che l'acqua di torre può contenere. Ottime prestazioni anticorrosione sono offerte da protezioni elettrolitiche, come lamiera elettrozincate e verniciate con polveri poliestere a forno, che offrono anche un ottimo risultato estetico.

Anche tutti i fitting, bulloneria e accessori vari, devono presentare pari resistenza, e per questi la scelta dell'acciaio inossidabile resta l'unica soluzione, evitando di avere a che fare con filetti incrostati o ossidati durante operazioni di smontaggio in opera. L'acciaio inossidabile può infine essere la soluzione ideale per una scelta integrale di tutti i materiali di costruzione.

## SCELTA DEL PACCO DI SCAMBIO

I pacchi di scambio, altrimenti detti pacchi di riempimento (filling), di una torre evaporativa vanno selezionati attentamente in relazione alla qualità dell'acqua ma anche alle temperature di lavoro, onde evitare che

temperature troppo alte li deformino se non addirittura li scioglano.

In genere una torre lavora con temperature medie di ingresso pari a 40/50° C, caso che ricomprende tutti gli impianti asserviti con condensatori di gruppi frigoriferi, e nei quali un riempimento in PVC resta una valida e ottima scelta, sopportando temperature fino ai 55-60° C. Al di sopra di queste temperature, il PVC letteralmente si scioglie, denunciando pertanto i suoi limiti in impianti dove, per il genere di lavorazioni, a causa di sovratemperature da improvvisi carichi termici momentanei di processo o per errate manovre degli operatori, la torre sia esposta a possibili flussi molto caldi. In tal caso, e in generale se non si conoscono con precisione i limiti termici di lavorazione dei processi, è opportuno optare fin dall'inizio per un riempimento in polipropilene, adatto a temperature fino a +85 / +90° C, più costoso ma che scongiura danni che comportano gravi conseguenze sul corretto funzionamento della torre. Infine, per temperature che superano i 90° C, le scelte disponibili restano l'acciaio inox o il legno.

Un altro fattore da valutare nella scelta del pacco di scambio in una torre evaporativa, è il tipo di acqua che circola nella torre e quanto questa è sporca. Infatti ci sono numerosi processi produttivi che immettono solidi sospesi nell'acqua di raffreddamento, come nel caso di:

- Industrie alimentari e di concentrazione
- Cartiere
- Acciaierie
- Trattamenti termici

Si tratta di industrie che non richiedono acqua estremamente fredda per il loro raffreddamento di processo, per cui una torre evaporativa resta la soluzione ottimale. Un pacco di riempimento classico però si intaserebbe in tempi molto brevi, richiedendo continua manutenzione, pertanto in questi casi bisogna optare per un tipo di riempimento a film anti-intasamento, invece del tipo a splash, studiato in maniera tale da assicurare un passaggio più largo ad aria e acqua. Infatti, ad esempio in una cartiera, l'acqua da raffreddare trascina con sé flocculi e filamenti che provengono dal feltro usato per produrre la carta. Oltre a pacchi anti-intasamento, questo genere di applicazione richiede anche una struttura rinforzata con supporti robusti, che siano in grado di sostenere il peso dei sedimenti che comunque si depositano nella torre prima di essere drenati.

## **RUMORE IN UNA TORRE EVAPORATIVA**

Le torri evaporative sono macchine piuttosto rumorose, con emissioni sonore nella gamma di frequenza bassa udibile anche a grande distanza: pertanto, nel caso soprattutto di installazione di una torre in aree urbane, l'inquinamento acustico è un fattore da non trascurare affatto. Occorre in questi casi scegliere torri centrifughe con silenziatori in aspirazione e mandata, soluzione che aumenta però i consumi di energia elettrica. In alternativa, è possibile adottare ventilatori assiali con pale speciali a basso rumore, oppure ancora meglio studiare l'installazione analizzando dove andrà a lavorare la torre, valutando

l'eventuale presenza di pareti o superfici riflettenti, o ostacoli in forma di barriere insonorizzanti naturali che limitino la diffusione del rumore. Diversi sono in sintesi i sistemi di silenziamento cui, a seconda del tipo di torre (che si tratti di una torre a circuito aperto, di un raffreddatore evaporativo a circuito chiuso o di un condensatore evaporativo) si può fare ricorso per abbattere in maniera più o meno drastica le emissioni sonore:

- Ventilatori a velocità ridotta
- Ventilatori con pale speciali antirumore
- Ventilatori centrifughi
- Silenziatori in ingresso aria
- Silenziatori in uscita aria
- Inverter
- Sistemi antisplash sul pelo libero dell'acqua in vasca
- Barriere antirumore

In generale, i ventilatori assiali sono una scelta energeticamente più conveniente dei corrispettivi centrifughi, molto più energivori, ma i primi restano difficilmente insonorizzabili. La scelta migliore, laddove il rumore sia un problema, restano allora ventilatori assiali del tipo a bassa rumorosità.

Oltre alla ventilazione, un'altra fonte di rumore a frequenza più alta nelle torri evaporative è legata allo scrosciare dell'acqua in vasca altro fattore che può entrare in gioco nella scelta del tipo di torre più indicato: una torre a ventilazione forzata presenta tipicamente una vasca chiusa all'interno della carpenteria, che attenua la rumorosità dell'acqua. Se la scelta cade invece su una torre di tipo

indotto con ventilatori sulla sommità e vasca a vista, si avvertirà allora l'incessante scrosciare dell'acqua in caduta sul pelo del bacino di raccolta: per eliminare questo genere di rumore si fa ricorso a sistemi detti antisplash, che posti a livello del pelo dell'acqua ne smorzano il rumore di caduta.

## **ASPETTO ESTETICO**

Le imprese sono sempre più sensibili ai temi della sostenibilità, del rispetto e della tutela dell'ambiente. Nella fattispecie, bisogna allora ricordare un difetto connaturato alle torri evaporative: queste con il tempo tendono a imbruttirsi nell'aspetto, essendo esposte ad agenti atmosferici, a colature di umidità, gocciolamenti di acqua e incrostazioni da carbonati e alghe, che mal si sposano con l'aspetto esteticamente curato di un building aziendale green oriented. E' per questo che gli installatori si sono con gli anni sbizzarriti a mascherare le torri nelle maniere più fantasiose, posizionandole sui tetti o in zone nascoste alla vista, risolvendo con arguzia il problema. Un esempio per tutti: negli impianti sciistici, i cannoni sparaneve sono spesso asserviti da torri evaporative che vengono dissimulate sulle pendici delle montagne chiudendole in costruzioni in legno in perfetto stile con l'ambiente circostante.

## **TORRI NO PLUME**

Un altro tipico elemento che caratterizza visivamente una torre evaporativa è il pennacchio bianco che fuoriesce

dall'alto della torre: malgrado possa creare allarmi all'occhio inesperto di chi guarda, si tratta semplicemente di vapore acqueo, che non provoca pertanto alcun tipo di inquinamento a livello ambientale. Esistono però situazioni e casi applicativi in cui il tipico pennacchio di vapore acqueo può creare fastidi, ad esempio se le torri si trovano nelle vicinanze delle piste di atterraggio di un'area aeroportuale. In questi casi, l'attività evaporativa di una normale torre di raffreddamento può generare seri problemi di visibilità: si potrà allora optare per torri con un sistema ibrido di wet-dry installato, che non solo abbatte il pennacchio di vapore, ma ha anche il vantaggio di ottimizzare e rendere meno onerosi i costi di gestione. Allo stesso modo, si può risolvere un altro problema che può insorgere per il fenomeno della ricaduta del vapore emesso con formazione di ghiaccio in giornate molto fredde, inconveniente che va altrimenti opportunamente segnalato o, appunto, evitato.

## **MANUTENZIONE E REVAMPING**

Per controllare lo stato prestazionale di una torre evaporativa, l'avvicinarsi della stagione calda è il momento ideale per una verifica dell'efficienza del pacco di riempimento, per evitare dannosi fermi di produzione. Il pacco di riempimento è infatti soggetto a intasamenti da terra, calcare e sedimenti di vario tipo, che ostruiscono i canali di scambio aria/acqua con conseguente bypass dell'aria e distribuzione insufficiente dell'acqua, che in uscita presenta pertanto ancora una temperatura elevata

a causa del ridotto scambio termico. In tal caso, si procede senza indugi alla sostituzione del pacco di scambio. Per verificare le prestazioni di una torre evaporativa è inoltre necessario fare riferimento ad alcuni dati essenziali, raffrontati tra i dati di progetto e quelli effettivi di lavoro:

- Potenzialità termica a condizioni di progetto
- Portata dell'aria
- Portata dell'acqua da raffreddare
- Temperatura a bulbo umido dell'aria in ingresso
- Temperatura acqua in ingresso e in uscita

Per tenere la resa della torre il più vicino possibile alle condizioni di progetto, è necessario come visto tenere controllato lo stato del pacco evaporante di scambio, accertandosi che non sia intasato da incrostazioni e depositi né deformato dal calore dell'acqua di ritorno degli impianti. Occorre anche però controllare la pulizia del sistema asservito, la pulizia e l'efficienza dei canali di distribuzione dell'acqua, l'efficienza degli ugelli e della valvola di alimento dell'acqua. Va controllato che il livello del bacino d'acqua sia corretto e che l'impianto di trattamento e reintegro sia efficiente, ed è opportuno predisporre la presenza di apparecchiature per la misura delle temperature, delle pressioni e delle portate. Infine bisogna accertarsi che l'aria circoli correttamente all'interno della torre, onde evitare un corto circuito tra aria espulsa, calda e umida, e aria in ingresso, il che ostacolerebbe il processo evaporativo fermando lo scambio termico.

Una torre efficiente e tenuta sotto adeguato controllo comporta maggiore scambio termico, efficienza massima,

magari con meno ventilatori in marcia, con conseguente minore impiego di energia elettrica.

Infine, in caso di un intervento per il potenziamento di una torre, o revamping, è possibile inoltre considerare la possibilità di effettuare un upgrade della stessa, con aggiunta di componenti accessori che, a fronte di un piccolo investimento, incrementano sensibilmente la resa e l'efficienza:

- Separatori di gocce
- Banco ugelli
- Sistemi di distribuzione

Torri evaporative e scambiatori di calore: il condensatore evaporativo. Chiudiamo la sezione dedicata alla scelta di una torre evaporativa prendendo in considerazione un caso particolare di macchina termica, il condensatore evaporativo, che unisce i vantaggi in termini di resa del processo evaporativo di una torre con quelli propri degli scambiatori di calore. Si ha un condensatore evaporativo allorché il pacco di riempimento di una torre viene sostituito da uno scambiatore a serpentina, sul quale l'acqua viene fatta cadere a pioggia dopo essere stata messa in ricircolo con una pompa. Il liquido da raffreddare e condensare viene immesso all'interno dello scambiatore, e cede il calore da dissipare all'acqua che lambisce le pareti esterne del condensatore: questa evaporando asporta infatti calore in quantità maggiore di quanta se ne dissiperebbe per trasferimento termico ad altra acqua allo stato liquido. Il calore dissipato attraverso la produzione di vapore acqueo è infatti maggiore rispetto a quello necessario a riscaldare

una pari quantità di acqua, ciò in virtù del comportamento fisico di molti fluidi nel passaggio di stato da liquido ad aeriforme.

Attenzione va posta in questo caso alla velocità del fluido, che se troppo elevata vanifica la corretta evaporazione a causa dell'effetto di trascinamento delle goccioline di condensato. Un condensatore evaporativo può imitare una torre evaporativa anche nella forma, e, dipendendo dall'effetto di evaporazione dell'acqua, anche questa macchina termica lega le proprie prestazioni alle condizioni dell'aria d'ambiente, alla temperatura di bulbo secco e alla temperatura di bulbo umido: quanto minore sarà il grado di umidità dell'aria, tanto maggiore sarà la quantità di vapore proveniente dal condensatore che l'aria ambiente potrà accettare. L'uso di ventilatori accompagna spesso gli scambiatori in funzione di condensatori, movimentando l'aria in grande quantità e disperdendo il vapore acqueo liberato dal condensatore.

# CASE HISTORY

## TERMOREGOLAZIONE IN IMPIANTO FARMACEUTICO DA LABORATORIO

Spesso in casi applicativi in ambito farmaceutico, con sistemi e apparecchiature di laboratorio, il cliente non ha a disposizione fluidi per il riscaldamento e/o raffreddamento delle macchine, pur necessitando di limiti di temperatura anche piuttosto spinti, con un grado di precisione elevato, caratteristiche che sicuramente non si riescono a raggiungere con i fluidi disponibili nella normale rete di riscaldamento/raffrescamento aziendali.

Nello specifico, in un caso applicativo seguito da Tempco, per ovviare al problema e assicurare la termoregolazione necessaria, abbiamo realizzato un sistema composto da una centralina di regolazione della temperatura, completa di sezione di riscaldamento elettrico mediante resistenze corazzate e sezione di raffreddamento con scambiatore a piastre, alimentato da un gruppo frigorifero condensato ad aria. Si tratta di un piccolo impianto monofluido autonomo, con un range di temperatura che va da +8°C (con soluzione incongelabile si può scendere anche a valori negativi di temperatura), fino a +140°C. Il tutto completamente autonomo e senza consumo di acqua: il

sistema, con questa tipologia di apparecchiature termiche, non ha richiesto assistenza all'avviamento, in quanto una volta effettuati i collegamenti necessari, è stato sufficiente riempire il circuito, il che ha richiesto una decina di minuti, e in altri dieci minuti il tutto è stato avviato.



Mescolatore per prodotti farmaceutici da laboratorio



Unità di termoregolazione

La centralina di termoregolazione impiegata ha un circuito pressurizzato, che alimenta in circuito chiuso il piccolo mescolatore in uso nel laboratorio. Il circuito di alimentazione del sistema centralina/ mescolatore viene caricato automaticamente e messo in pressione dal gruppo frigorifero, che viene riempito con acqua di rete (o con soluzione antigelo nel caso di temperature inferiori allo zero termico). In tale maniera tutto l'impianto viene riempito automaticamente con un unico caricamento a cui provvede il chiller.



Termoregolatore PID

La centralina tramite un termoregolatore ad azione PID (Proporzionale - Integrale - Derivativo) provvede a mantenere la temperatura di set point impostata, utilizzando le resistenze elettriche per la fase di riscaldamento. Al fine di mantenere la regolazione di temperatura, il termoregolatore elettronico attiva alternativamente resistenze ad elettrovalvola di raffreddamento, per contenere le oscillazioni di temperatura entro la banda proporzionale impostata, ottimizzandone il funzionamento tramite l'autotuning preimpostato. Il chiller mantiene la vasca di acqua alla temperatura impostata sul set point del termostato di regolazione.



Unità chiller di raffreddamento

Quando tutto l'impianto deve essere raffreddato, è sufficiente modificare il set point della centralina, che spegne le resistenze di riscaldamento e mantiene aperta l'elettrovalvola di raffreddamento, adducendo acqua refrigerata allo scambiatore, andando in tal modo a raffreddare tutto il sistema.

## RIDONDANZA DELLE MACCHINE TERMICHE PER SCONGIURARE FERMI DI PRODUZIONE

La termoregolazione e il controllo delle temperature di processo sono un elemento essenziale per assicurare la continuità produttiva: è allora in taluni casi opportuno pensare in anticipo all'eventualità di possibili guasti, o alla necessità per esempio di non interrompere la produzione durante gli interventi di manutenzione, ad esempio operazioni programmate di pulizia di uno scambiatore a piastre asservito al processo. Onde prevenire fermi macchina, è allora opportuno ricorrere da progetto alla ridondanza delle macchine termiche impiegate, magari dividendo il lavoro termico fra più macchine di minore portata, ma anche, nel secondo caso, installando una macchina spare posta in parallelo a quella di lavoro.



Gruppo di raffreddamento con scambiatore a piastre e pompe spare ridondanti

La domanda che ci si pone in genere è se sia meglio avere un unico chiller, torre evaporativa, scambiatore, e così via, che soddisfa la duty termica al 100%, oppure se sia meglio scegliere una soluzione di due macchine al 50%.

La risposta è soggettiva e dipende anche dalla tipologia di impianto: quando si parla di impianti per processi industriali, che assolutamente non devono mai fermarsi, dovrebbe essere tassativo scegliere la soluzione con macchine più piccole in parallelo.

I clienti di questi impianti, solitamente, si tutelano con scelte che prevedono già in partenza una ridondanza di sicurezza, ma anche in questo caso sono possibili diverse scelte, con diversi risvolti che meritano di essere analizzati.



Serbatoi chiller

Facciamo un caso specifico:

- Problema: impianto di processo che deve smaltire 1000 KW di potenza termica.
- Schema termico del servizio di raffreddamento: acqua a 18°C con salto termico di 10°C

- Zona di installazione: nord Italia, temperatura ambiente di progetto estiva 35°C, temperatura ambiente invernale 0+5°C
- Soluzione: gruppo frigorifero condensato ad aria, asservito da sistema di free cooling, con relativo serbatoio di accumulo e gruppi di pompaggio.

Le temperature in gioco non permettono di utilizzare torri di raffreddamento, quindi per forza di cose bisogna optare per dei refrigeratori. Vista la latitudine, risulta di interesse economico implementare un sistema di free cooling, per consentire un notevole risparmio energetico durante la stagione fredda e comunque poter parzializzare l'uso del chiller nella media stagione.



Chiller refrigeratori



Chiller free cooler

Dal punto di vista del gruppo frigorifero, il problema termico si può risolvere facilmente con un chiller da 1000 KW termici, condensato ad aria, con compressore a vite o centrifugo: soluzione semplice, ma senza scampo, in quanto in caso malaugurato di avaria, tutto l'impianto è

fermo. Certamente si può suggerire al cliente di installare due gruppi, di cui uno in stand by al 100%: in pratica suggerendo al cliente di raddoppiare l'investimento, o quasi.

La soluzione ideale sembrerebbe allora quella di adottare due gruppi frigoriferi di metà potenza (500kW), magari multicompressore: l'obiezione spontanea è quella che comunque non c'è uno 'spare'.



Chiller refrigeratori

La soluzione migliore è allora quella di installare due gruppi frigoriferi a 4 circuiti cadauno, di potenzialità leggermente superiore, magari 600 kW cadauno: in questo modo, anche in caso di avaria di uno degli otto compressori, il cliente ha comunque la piena potenza richiesta in fase di progetto.

Certamente dei gruppi frigoriferi di questo tipo sono più cari rispetto a gruppi monocompressore, ma offrono innegabili vantaggi:

- Maggiore flessibilità
- Manutenzione specializzata, ma sicuramente più alla portata del semplice frigorista, che magari già si occupa degli impianti in azienda.
- Minori consumi energetici sul lungo periodo, in quanto quando si parzializza i compressori si spengono totalmente.

Allo stesso modo è possibile ragionare con le torri evaporative, con i radiatori (la linea TCFC di Tempco proprio in tale ottica è già sviluppata in maniera modulare sul numero dei ventilatori), sugli scambiatori di calore a piastre, sulle pompe dei gruppi di pompaggio, e via dicendo.

E' evidente che, caso per caso, ci sono limiti che vanno valutati, e che soluzioni di questo genere non sono chiaramente applicabili ad impianti di piccola potenzialità, dove è però anche vero che le criticità di fermi macchina sono meno stringenti, e dove comunque il raddoppio di investimento in caso di necessità di ridondanza risulta meno oneroso.



Chiller refrigeratori e scambiatori di calore

## TERMOREGOLAZIONE NEI SETTORI FARMACEUTICO, CHIMICO E ALIMENTARE

Gli impianti installati su processi di produzione alimentare o nel settore chimico/farmaceutico necessitano quasi sempre di sistemi di termoregolazione della temperatura. Una delle peculiarità richieste da questo genere di installazioni è legata alla pulizia degli ambienti, come si può ben immaginare, e alla possibilità di pulire o 'sanitizzare' le apparecchiature montate a servizio degli impianti. Si pensi ad esempio ai pastorizzatori per prodotti alimentari, quali latte, creme, uova o bevande: si tratta di macchinari completamente realizzati in acciaio inossidabile, con peculiare caratteristiche di sanitizzazione.



STEAM HEATING  
THERMOREGULATING  
UNIT - centralina di  
termoregolazione a vapore  
in acciaio inox per ambienti  
farmaceutici

Di conseguenza anche le apparecchiature che forniscono le utilities di riscaldamento e/o raffreddamento, se poste in zona processoe non in zona tecnica, devono essere realizzate adeguatamente. Per rispondere a tali esigenze, le centraline di termoregolazione specifiche per impiego chimico/farmaceutico e/o alimentare devono avere caratteristiche particolari: esse devono presentare

- Strutture completamente in acciaio inossidabile
- Componentistica water proof
- Completa pulibilità
- Assenza di zone di ristagno
- Esecuzione sanificabile



T REG centralina di termoregolazione per ambiente farmaceutico

Queste particolarità comportano dei costi aggiuntivi, a causa dei materiali nobili che devono essere impiegati, ma che si rendono necessari per salvaguardare i prodotti e il processo produttivo che li genera. In caso poi di utilizzo con fluidi particolarmente aggressivi, per via dei frequenti lavaggi cui i macchinari vengono sottoposti, esistono diverse esecuzioni con materiali dedicati.



Scambiatore a piastre per imbottigliamento bevande



Unità di raffreddamento in ambito alimentare

Nel caso di impiego di scambiatori di calore in ambito chimico/ farmaceutico e alimentare, un'altra evenienza che va scongiurata tassativamente è il rischio di miscelazione del prodotto con il fluido di raffreddamento o riscaldamento, si pensi ad esempio a bevande o medicinali iniettabili. In uno scambiatore di calore, la miscelazione tra i due fluidi può avvenire in caso di foratura delle superfici di scambio, delle piastre o dei tubi di scambio, e le cause possono essere molteplici:

- Corrosione
- Erosione meccanica
- Sollecitazione meccanica (ad esempio colpi d'ariete)

La rottura delle guarnizioni non può invece dare miscelazione, infatti prendendo l'esempio di uno scambiatore a piastre, la rottura di una guarnizione nella zona periferica provoca perdita di liquido verso l'esterno, mentre se la rottura si verifica nella zona del bocchello, la guarnizione è doppia (ridondante) con drenaggi verso l'esterno che evitano la miscelazione e segnalano l'avvenuta rottura.



Doppia guarnizione  
nella zona del bocchello

Per prevenire il rischio di miscelazione in caso di perforazione o foratura e garantire la massima sicurezza, la soluzione che viene adottata è l'esecuzione a doppia parete, che scongiura la possibilità che due fluidi si possano miscelare all'interno di uno scambiatore di calore. Si tratta di una soluzione piuttosto costosa, sia in termini costruttivi che energetici: infatti prevede la presenza di una vera e propria 'doppia parete', o in gergo tecnico 'double wall', comportando doppie piastre di scambio nel caso di scambiatori a piastre e 'tubi a doppia parete' per gli scambiatori a fascio tubiero. Risulta facile capire che al maggior costo di realizzazione, dovuto sia all'incremento di materiale costruttivo che alla maggiore sofisticazione realizzativa, si aggiunge una minore efficienza termica di scambio, che deve essere compensata con maggiore superficie: infatti l'esecuzione a doppia parete comporta una riduzione del coefficiente di scambio termico, che va compensata aumentando l'area superficiale di scambio.



Scambiatori di calore a doppia parete tubo in tubo

Le applicazioni che poi nello specifico si possono sviluppare per processi produttivi in questi ambiti sono davvero infinite, vediamone per sommi capi due a puro titolo esemplificativo.

Nel campo di raffreddamento di salamoie per il raffreddamento di prodotti alimentari dopo la pastorizzazione quali gli insaccati, la salamoia per uso alimentare può essere raffreddata tramite un raffreddatore a film cadente - falling film cooler -, uno sviluppo particolare degli scambiatori della serie TCOIL a piastre rigonfiate, entro le quali scorre gas frigorifero a espansione diretta o una soluzione gelida. La soluzione a film cadente è un accorgimento necessario che garantisce facilità di pulizia, massima accessibilità ed efficienza: in questo genere di applicazione, infatti, la soluzione gelida entra in contatto diretto con il prodotto trascinandolo particelle di grasso e altri materiali inquinanti, a causa dei quali un normale scambiatore si intaserebbe molto rapidamente, comportando inoltre complicate operazioni di pulizia e sanitizzazione.



Impianto di  
pastorizzazione  
wurstel

In campo farmaceutico e chimico, invece, occorre pensare che le reazioni che avvengono al momento della miscelazione di determinate sostanze, necessaria per ottenere principi attivi o sottoprodotti per utilizzi specifici, sviluppino energia. Alcune reazioni chimiche avvengono con sviluppo o con assorbimento di calore, e nei due casi rispettivamente avviene che:

- Il contenuto di energia dei prodotti è inferiore a quello dei reagenti: la reazione è esotermica, cioè avviene con sviluppo di calore, e viene prodotto calore da smaltire
- Il contenuto di energia dei prodotti di reazione è superiore a quello delle sostanze reagenti: la reazione è endotermica, cioè è necessario somministrare continuamente energia per farla avvenire

Diversi sono i tipi di reazione che possono avvenire, come scambio, sintesi, decomposizione o combustione. Tutte queste reazioni avvengono in apparecchi chiamati reattori, che sono apparecchi solitamente a pressione con all'interno dei miscelatori o mixer aventi una camicia o un semitubo esterno per la termostatazione, la quale negli impianti più moderni avviene tramite sistemi monofluido. Questi consistono di centraline di termoregolazione complete di sistema di pompaggio, dotate di scambiatori di calore costruiti in funzione dei livelli di temperatura necessari a soddisfare la reazione da asservire, con relativo sistema di controllo e valvole automatiche, controllabile in locale o in remoto, che permette di fornire al reattore stesso un fluido circolante a diverse temperature.



Reattore per processi farmaceutici



TCPU HC EX centralina di termoregolazione monofluido  
in esecuzione antiesplorazione ATEX

## RAFFREDDAMENTO DELL'OLIO IDRAULICO - LUBRIFICAZIONE E AZIONAMENTI OLEODINAMICI NELLE MACCHINE UTENSILI

Un'applicazione molto comune degli scambiatori di calore è il loro utilizzo per il raffreddamento di impianti idraulici o di lubrificazione, ad esempio su macchine utensili e operatrici che utilizzano azionamenti idraulici e impianti oleodinamici per gli organi in movimento, ma anche nelle acciaierie, dove sono presenti differenti tipologie di impianto che necessitano di sistemi di raffreddamento, siano essi inerenti alla colata continua, alla laminazione, alla forgiatura, tutti impianti asserviti da molte centraline oleodinamiche e di lubrificazione. In tutti questi settori, l'olio utilizzato per gli attuatori idraulici o semplicemente per la lubrificazione assorbe il calore ceduto dalle pompe e/o dal movimento meccanico generato. Il calore accumulato dall'olio idraulico deve essere smaltito affinché l'olio mantenga le adeguate proprietà lubrificanti e di viscosità, in quanto una sua alterazione farebbe venir meno la corretta azione lubrificante con gravi danni per macchinari e impianti.

Tutti gli impianti di questo genere sono pertanto dotati di un sistema di raffreddamento dell'olio mediante scambiatore di calore. L'olio va solitamente mantenuto a una temperatura di 45-50°C, quindi il raffreddamento viene realizzato dove possibile mediante scambiatori aria-olio, altrimenti con scambiatori acqua-olio, che a seconda delle dimensioni degli impianti e delle potenzialità sono di tipo saldobrasato o ispezionabili.



Scambiatore di calore a piastre su centralina oleodinamica

Il valore della potenzialità termica da smaltire è legato alla potenza elettrica installata di pompe e accessori, in una misura percentuale legata al rendimento delle macchine (per determinare la parte dell'energia impiegata nel pompaggio o negli azionamenti che viene trasferita all'olio sotto forma di calore).

Nel caso di raffreddamento ad acqua, solitamente l'utente ha diverse possibilità di alimentazione:

- Acqua di chiller
- Acqua di torre
- Acqua di rete

Analizziamo i tre sistemi:

- La soluzione con chiller o gruppo frigorifero offre sicuramente la massima efficienza in termini di raffreddamento, ma rappresenta uno spreco di energia, in quanto per mantenere l'olio a 45-50°C basta uno scambiatore ben dimensionato, che rende inutile l'utilizzo di acqua a temperatura molto bassa.
- La torre evaporativa permette di avere acqua alla temperatura adeguata al tipo di raffreddamento

richiesto, con un costo energetico molto economico e quindi vantaggioso.

- L'acqua di rete permette un buon raffreddamento, ma rappresenta uno spreco di risorse primarie.



Scambiatori di calore a piastre rispettivamente su centrale oleodinamica, centralina di lubrificazione e impianto oleodinamico

La terza soluzione, sebbene sia la meno 'ecocompatibile', rappresenta spesso e di gran lunga la soluzione ancora oggi adottata da una miriade di piccole aziende che non sono dotate di sistemi di raffreddamento differenti. Anche in questo tipo di applicazioni, però, gli scambiatori di calore a piastre consentono di limitare lo spreco di acqua di rete, rispetto a soluzioni tradizionali (scambiatori a fascio tubiero, serpentini e così via), e questo in virtù delle loro caratteristiche di estrema efficienza di scambio termico e di coefficienti di scambio molto elevati, che consentono incroci di temperature estremamente spinti.

Sempre nel caso del raffreddamento ad acqua, occorre inoltre pensare alla possibile rottura meccanica di un tubo e di una piastra, che porterebbe alla miscelazione di acqua e olio. Se l'acqua entra nel circuito dell'olio, i danni causati alle macchine asservite ai circuiti idraulici possono essere molto

gravi se non addirittura irrecuperabili. Per evitare questo genere di problemi, si utilizza un metodo molto semplice, ovvero mantenere la pressione dell'olio circolante nel circuito idraulico maggiore di quella dell'acqua presente nel circuito di raffreddamento, in modo che nella eventualità di una rottura ci sia piuttosto un trafilamento di olio nell'acqua, che verrà intercettato da un calo del livello di olio nel serbatoio, monitorato da appositi livellostati. In questo caso un allarme potrà fermare la produzione, scongiurando possibili danni.

Un sistema più sofisticato, che viene utilizzato in alcuni specifici casi e su applicazioni con macchinari altrettanto sofisticati e costosi, è quello di ridondare i circuiti, realizzando un doppio circuito olio/olio/ acqua, energeticamente penalizzante, ma decisamente imbattibile dal punto di vista della prevenzione di possibili danni.

Tra le numerose applicazioni realizzate in questo settore, vediamo un caso esemplificativo di sistema di raffreddamento realizzato per un cliente che opera nel comparto della meccanica di precisione, realizzando macchinari di lavorazione a elevata precisione e ripetitività.



Raffreddamento dell'olio nelle macchine utensili di precisione: turbina

Le moderne macchine utensili per la lavorazione meccanica di precisione mediante asportazione di truciolo necessitano di azionamenti idraulici, per le movimentazioni robotizzate, e di una lubrorefrigerazione degli utensili mediante olio da taglio, per due motivi:

- Mantenimento delle tolleranze di lavorazione per un periodo determinato
- Diminuzione dell'usura degli utensili di lavorazione

Entrambi questi sistemi generano calore, che deve essere dissipato per mantenere costante il livello di precisione nelle lavorazioni.

Nella fattispecie, abbiamo realizzato un sistema di raffreddamento integrato a elevata efficienza, che prevede l'impiego di una serie di apparecchiature per garantire il corretto livello di temperatura, sia dell'olio idraulico che dell'olio da taglio. Il sistema è avale di un gruppo frigorifero centralizzato, condensato ad aria, quindi con un circuito perfettamente sigillato, senza consumo di acqua. Il gruppo frigorifero è completo di serbatoio di stoccaggio dell'acqua refrigerata, che funge da volano termico, in quanto le lavorazioni molto spesso sono cicliche.

Il chiller asserva una serie di scambiatori:

- Scambiatori di calore a piastre saldobrasate T PLATE B, per il raffreddamento dell'olio delle centrali idrauliche, che alimentano gli automatismi e gli azionamenti a bordo macchina

- Scambiatori a immersione T COIL, per il raffreddamento della vasca dell'olio da taglio

La prima posizione ha richiesto una analisi precisa dei rendimenti delle centrali, in modo da valutare con correttezza l'esatta entità della potenza termica da dissipare, valutando in modo accorto il consumo di acqua e le temperature di lavoro, in modo da minimizzare la potenzialità del gruppo frigorifero.

La seconda posizione è stata progettata valutando il calore indotto dalla produzione di truciolo e dalla lavorazione meccanica degli utensili.

Entrambe sono poi state sottoposte a una analisi dei tempi di lavoro e dei tempi morti, ottimizzando la capacità del serbatoio volano. In questo modo si è potuta ulteriormente economizzare la potenzialità del chiller.



Raffreddatore di olio  
in impianto idraulico

Come ulteriore miglioria, si è infine introdotto un sistema di free cooling, che durante la stagione più fredda consente di arrestare i compressori del chiller, utilizzando dei semplici dissipatori T FIN, in modo da ridurre ulteriormente i consumi energetici.



Raffreddamento di olio idraulico  
in impianto di macchine utensili

Le navi, sia da crociera che da cargo, presentano diverse esigenze di termoregolazione, per le quali si fa ricorso a scambiatori di calore, a partire da quelli che in gergo vengono chiamati 'central cooling', che provvedono al raffreddamento principale per i motori e, in seconda istanza, forniscono l'acqua 'dolce' per il raffreddamento di tutti i servizi ausiliari presenti a bordo.

Infatti i grandi motori che spingono le moderne navi hanno bisogno di essere raffreddati, così come qualsiasi altro motore endotermico, ed essendo la nave stessa in navigazione nel bel mezzo del fluido più efficiente dal punto di vista dello scambio termico, l'acqua di mare, ecco che il sistema di raffreddamento è già pronto e disponibile all'utilizzo.



Scambiatore di calore a piastre in ambito marittimo

L'acqua di mare, carica di cloruri, è un ottimo mezzo di raffreddamento a basso costo, ma proprio per la sua salinità, richiede l'impiego di materiali che resistano alla corrosione. Per questo tipo di applicazione, un tempo si utilizzavano grandi scambiatori a fascio tubiero realizzati

in cupro-nickel (o ammiragliato), una lega resistente alla corrosione dei sali contenuti nell'acqua di mare. Tali scambiatori dovevano essere anche facilmente pulibili, in quanto l'acqua di mare nonostante la filtrazione alla quale viene sottoposta è carica di sedimenti e microorganismi, quindi solitamente si trattava di scambiatori a tubi dritti e testate smontabili, per una facile pulizia.

Si tratta di ottimi apparecchi di scambio termico con coefficienti di scambio piuttosto bassi, che richiedevano dimensioni conseguentemente importanti, necessitando inoltre di spazi contigui adeguati per poterne effettuare la pulizia mediante scovolatura. E sulle navi, lo spazio è un bene prezioso, e anche nella sala macchine quanto più è possibile risparmiarne, meglio è.



Sala macchine su una nave cargo: lo spazio è un bene prezioso

Questa tipologia di scambiatori è stata pertanto ormai soppiantata in modo pressoché integrale dai moderni scambiatori di calore a piastre ispezionabili, che offrono una serie di vantaggi che li rendono insostituibile per questo tipo di applicazione:

- Dimensioni compatte
- Ingombro di manutenzione ridotto a zero
- Alta efficienza di scambio termico
- Resistenza alla corrosione

Uno scambiatore a piastre aventi pari caratteristiche termiche di uno scambiatore a fascio tubiero ha infatti dimensioni nettamente più compatte, e non richiede gli spazi contigui necessari alla manutenzione richiesti dallo scambiatore a fascio tubiero scovolabile, ingombri necessari per poter inserire e disinserire gli attrezzi per la scovolatura dei tubi. Lo scambiatore a piastre infatti si smonta e si rimonta nello spazio complessivo del suo telaio, richiedendo solo un poco di spazio laterale per l'eventuale rimozione delle piastre (il normale spazio d'accesso che serve per qualsiasi apparecchiatura). Il coefficiente di scambio globale di uno scambiatore a piastre è inoltre circa 4 volte quello di uno scambiatore a fascio tubiero, e gli scambiatori a piastre per acqua di mare vengono realizzati con piastre in titanio, materiale che ha elevatissima resistenza alla corrosione da cloruri, senza bisogno di alcun sovrappessore di corrosione. Tutto questo, a un costo addirittura inferiore a quello di uno scambiatore a fascio tubiero in cupro-nickel di pari caratteristiche termiche.



Sala macchine navale

Sempre legato a motori diesel a gasolio o nafta pesante, tipicamente motori marini per applicazioni in navi mercantili, traghetti e navi da crociera, è poi l'utilizzo di scambiatori di calore per il preriscaldamento dell'olio combustibile che alimenta i motori endotermici. In questo genere di applicazioni si usano scambiatori a piastre saldobrasate, in genere piuttosto piccoli, alimentati a vapore a bassa pressione (3-4 bar) per preriscaldare il combustibile anche fino a temperature di 100°C, in modo che sia fluido al momento di arrivare agli iniettori. Una moderna nave è però anche attrezzata di tutta una serie di azionamenti idraulici, che sono asserviti da centraline oleodinamiche:

- Argani
- Verricelli
- Servocomandi



Scambiatori a piastre saldobrasati per riscaldamento dell'olio, economici, compatti e ad alta efficienza di scambio

In tutte queste applicazioni, l'olio che viene utilizzato come elemento di forza e di trasmissione dell'energia, si riscalda e deve di conseguenza essere costantemente mantenuto alla temperatura corretta perché non perda le proprie caratteristiche: per queste applicazioni, si utilizzano nuovamente scambiatori a piastre ed in questo caso quasi sempre del tipo saldobrasato, in virtù delle loro dimensioni compatte e dell'alta efficienza di scambio termico, oltre ad essere decisamente economici.

Infine, gli elementi installati nei quadri elettrici, azionamenti e componentistica elettronica di potenza quali inverter, induttori e convertitori, che si trovano spesso in zone anguste e poco areate, impongono anch'essi sistemi di raffreddamento dedicati. Il binomio elettronica e acqua è sicuramente problematico, ma le pesanti condizioni operative e i tassi elevati di riscaldamento prodotti non possono essere gestiti da sistemi analoghi ai dissipatori ad alette montati a contatto che si trovano nei personal



computer. Il raffreddamento ad aria non è qui applicabile, e pertanto anche si deve fare ricorso al raffreddamento ad acqua, che viene fatta passare direttamente all'interno dei componenti elettronici di potenza grazie a circuitazioni dedicate.

Scambiatore a piastre per il raffreddamento di un convertitore in ambito navale

L'acqua che viene utilizzata è solitamente deionizzata o demineralizzata, in ogni caso deve essere perfettamente filtrata, allo scopo di non sporcare/intasare la circuitazione di raffreddamento dei componenti. Di conseguenza questi sistemi package di raffreddamento sono realizzati in acciaio inossidabile o in materiale plastico, e sono sempre interfacciati da scambiatori a piastre, che cedono il calore al fluido di raffreddamento che, a seconda dei casi e delle applicazioni, può arrivare da:

- Torre di raffreddamento
- Chiller
- Dissipatore (dry-cooler)

Il tutto viene gestito da regolatori di temperatura che provvedono a comandare le valvole di ammissione dell'acqua refrigerante in base al set-point impostato.



Centralina di termoregolazione T REG per inverter di potenza

## COGENERAZIONE E MACCHINE TERMICHE

La cogenerazione è un sistema in larga diffusione di generazione concomitante di energia elettrica e termica, in termini di caldo/ freddo, che permette di sfruttare per un massimo rendimento il lavoro di motori endotermici in gruppi elettrogeni, aumentandone la resa energetica dal 40-45% fino al 90%. Questo avviene proprio grazie a macchine termiche che consentono il recupero del calore generato dai motori, tramite recupero dei fumi, dalle acque di raffreddamento nelle camicie del motore o dal circuito dell'aftercooler.

Per ottimizzare questo recupero, esistono moduli premontati e progettati allo scopo, completi di tutta la componentistica che ne permetta un funzionamento automatico e affidabile.

Questi moduli prefabbricati comprendono solitamente:

- Scambiatore di recupero fumi, di tipo scovolabile, completo di compensatore di dilatazione sul mantello e testate in materiale inossidabile
- Scambiatore di calore a piastre per recupero sull'acqua di raffreddamento motore
- Pompa di circolazione
- Strumentazione di controllo
- Valvola di by-pass fumi (in caso di mancato recupero del calore, i fumi non passano nello scambiatore ma vengono deviati)
- Valvola termostatica deviatrice al sistema di dissipazione di emergenza.



Impianto di cogenerazione a biogas

Nel qual caso infatti la necessità di recupero del calore di scarto venga meno, è necessario munire l'impianto anche di un sistema di dissipazione del calore di emergenza, corredato da elettroradiatori che provvedono comunque a smaltire il calore generato dal motore.

Tutte queste componenti devono essere scelte attentamente e correttamente calibrate, altrimenti si rischiano malfunzionamenti e danni anche gravi al motore.



Dissipatori di emergenza per impianto di cogenerazione

Una attenta progettazione del sistema di recupero dell'energia termica di scarto nella cogenerazione è infatti molto importante, in quanto se mal progettato, l'impianto di recupero di calore può dar luogo a moltissimi problemi: bisogna infatti tenere ben presenti certi fattori, sia in fase progettuale che esecutiva. A livello di progettazione, si deve stare molto attenti alle temperature e alle sollecitazioni da esse indotte nelle apparecchiature interessate allo scambio termico.

A livello esecutivo, occorre adottare tutta una serie di accorgimenti che permettano all'impianto di operare in sicurezza: un impianto di cogenerazione è fatto per operare in continuo, per tempi piuttosto lunghi, quindi vanno messi in preventivo dei controlli a cadenze programmate, che vengano fatti in modo attento e scrupoloso.

Infatti alle temperature in gioco e con le relative condizioni di esercizio di un impianto di recupero fumi, un piccolo particolare tralasciato può causare nel tempo danni ingenti, che comportano spese importanti per poter essere ripristinati: vibrazioni, dilatazioni, serraggio bulloneria, guarnizioni ed elementi di tenuta sono solo alcuni dei particolari che vanno controllati e verificati costantemente. Per semplificare, ai nostri clienti facciamo spesso questo esempio: considerando un carico di lavoro di 8000 ore/anno, se l'impianto fosse una autovettura che marcia a 50 km/h, vorrebbe dire che in un anno percorre almeno 400.000 km. Una autovettura in tal caso, quanti tagliandi avrebbe già effettuato? E soprattutto, starebbe ancora marciando?



Scambiatore per recupero di calore acqua motore (jacket/aftercooler) e olio



Scambiatore recuperatore fumi/acqua per impianto di cogenerazione

Se è vero e sacrosanto che negli impianti di cogenerazione è utile e vantaggioso recuperare il più possibile per la parte acqua ed olio, la questione prende un aspetto a parte per quanto riguarda il recupero dei fumi: recupero molto intelligente, in quanto per tale parte si opera con un fluido a temperatura molto elevata, quindi anche se con portate basse (in massa), è possibile ottenere un ottimo recupero termico applicando uno scambiatore a fascio tubiero.

Occorre però considerare che i gruppi di cogenerazione con motori endotermici possono essere alimentati da diversi combustibili:

- Gasolio
- Gas naturale (metano)
- Biogas da allevamenti animali
- Biodiesel
- Biogas da discarica



Scambiatore a fascio tubiero per recupero fumi in impianto di cogenerazione

Proprio il tipo di combustibile diventa fondamentale sia nella selezione dei componenti sia nello specifico nella scelta dello scambiatore di calore per il recupero dei fumi esausti: infatti a seconda del tipo di combustibile utilizzato, si potranno avere diversi coefficienti di sporcamento da considerare nella scelta del diametro dei tubi. Inoltre, cosa ancor più importante, è bene che lo scambiatore fumi sia dimensionato in modo corretto e non sovrabbondante.

Questo perché un dimensionamento abbondante del recuperatore fumi porta a un abbassamento spinto della temperatura dei fumi in uscita dallo scambiatore, con

incremento delle probabilità di formazione di condense che, a seconda del tipo di combustibile utilizzato, potranno essere più o meno acide, aumentando di conseguenza i rischi di corrosione sullo scambiatore stesso.

Solitamente si tende a recuperare il calore dai fumi cercando di ottenere una loro temperatura in uscita non più bassa di 130°C (valore indicativo che varia al variare del tipo di combustibile).

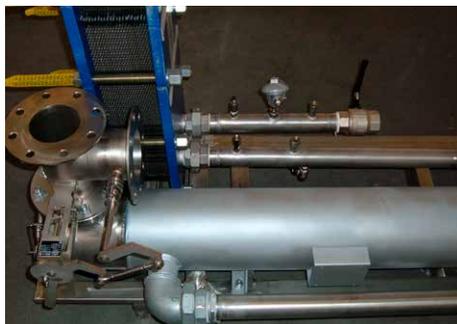
In ogni caso, le regole di una buona progettazione di un impianto di cogenerazione consigliano:

- Tubi diritti scovolabili
- Testate e tubi in acciaio inox AISI 316
- Testate smontabili o comunque sostituibili
- Compensatore di dilatazione sul mantello



Tubi diritti scovolabili in scambiatore fumi per impianto di cogenerazione a motori endotermici alimentati a gas naturale

Occorre poi pensare sempre ad aggiungere anche una buona valvola di by-pass sui fumi, che sia in grado di resistere e funzionare a 600°C e oltre.



Valvola di bypass in uno scambiatore per recupero fumi

Inoltre, sempre più diffusa oggi è l'applicazione di gruppi di cogenerazione nelle discariche di rifiuti e negli allevamenti, in quanto si tratta di una soluzione energeticamente molto valida, in quanto evidentemente il biogas generato dai rifiuti o dai reflui degli allevamenti animali rappresenta un'ottima fonte di energia alternativa. Tuttavia il biogas prodotto in questi impianti non può essere impiegato direttamente nel motore, in quanto è umido e carico di condense acide e corrosive, e va quindi deumidificato. Altrimenti, se immesso nei motori endotermici, ne determinerebbe un cattivo funzionamento oltre a comportare danni irreparabili in pochissimo tempo.

Allo scopo di renderlo meno 'aggressivo' e adatto ai motori, tutti questi impianti vengono dotati di sistemi di deumidificazione spinta, che consistono in una accoppiata di:

- Refrigeratore
- Condensatore a fascio tubiero



Impianto di cogenerazione a biogas



Sistema per la deumidificazione del biogas

In pratica il biogas che arriva da una soffiante a circa  $+40$   $+45^{\circ}\text{C}$  viene spinto in uno scambiatore a fascio tubiero, alimentato sul secondario da una miscela di acqua e antigelo a temperature prossime agli  $0^{\circ}\text{C}$ . In questo modo, l'umidità presente nel biogas viene condensata quasi completamente, rendendo il biogas stesso all'uscita dello scambiatore a fascio tubiero a circa  $+3$   $+4^{\circ}\text{C}$  saturo, ovvero con umidità relativa al 100%, ma con valori di umidità assoluta bassissimi. Con un post riscaldamento effettuato tramite una ulteriore soffiante o altri sistemi,

lo si rende pronto per essere mandato in alimentazione al motore.

L'utilizzo sempre più comune negli impianti di cogenerazione dell'olio di palma, o di oli vegetali in genere, pone inoltre un ulteriore problema: questo combustibile a temperatura ambiente ha una viscosità molto elevata, presentandosi in forma quasi gelatinosa, e per questo spesso questi impianti hanno una doppia alimentazione, vengono cioè fatti partire a gasolio, quindi si passa alla alimentazione a olio di palma.

In ogni caso, l'olio di palma va mantenuto caldo nel serbatoio, e le soluzioni possono essere diverse, con resistenze elettriche immerse direttamente nel serbatoio oppure con serpentini alimentati ad acqua calda. La soluzione ottimale è quella di usare scambiatori a piastre immerse TCOIL, costruite su misura e inserite direttamente nel serbatoio, sfruttando il passo d'uomo e alimentandole con acqua calda, magari sfruttando l'acqua stessa dei jacket dei motori, applicazione che rientra nello spirito di un impianto di cogenerazione, effettuando di fatto un primo recupero (anche se di entità minimale).



Scambiatori T COIL per riscaldamento dell'olio di palma



Motore per impianto di cogenerazione con olio di palma

Le performance di recupero di calore in un impianto di cogenerazione dipendono strettamente da alcuni fattori:

- Quantità del calore emessa
- Temperatura della fonte di calore
- Tipo di vettore termico
- Fluido di lavoro

Il tipo di fluido di lavoro nel sistema di recupero di calore di un impianto di cogenerazione è in particolare un fattore cruciale per l'ottimizzazione del ciclo termodinamico, e va scelto in dipendenza dalla temperatura della fonte primaria di calore di scarto.

A tal merito, un tipo di cogenerazione che sta velocemente prendendo piede in questo genere di impianti è la cogenerazione ORC, o Ciclo Organico Rankine, così

chiamata in quanto impiega un fluido organico ad alto peso molecolare, con un punto di evaporazione più basso di quello del vapore acqueo. Questo accorgimento nella scelta del fluido di lavoro consente di sfruttare sorgenti a bassa temperatura, quali energia di combustione da biomasse e calore di scarto industriale, che possono così più facilmente venire convertiti in lavoro utile ad attivare microturbine per la produzione di energia elettrica, senza ulteriore consumo di energia primaria da combustibile immesso all'origine.



Motore Man per  
impianto di  
cogenerazione

Gli Scambiatori di Calore a Piastre saldobrasate della linea T PLATE B di Tempco sono una soluzione ad alta efficienza ideale per questo genere di applicazioni a recupero energetico, in quanto capaci di aumentare la quantità di calore scambiato tra i due fluidi, grazie all'ampia superficie di contatto delle piastre. Inoltre, la

condensazione e l'evaporazione del liquido refrigerante usato nel ciclo cogenerativo, in genere R245Fa, può essere ottenuta con l'impiego di un fluido a temperatura medio-alta, un cascame di vapori esausti o acqua pressurizzata, come pure mediante acqua di torre evaporativa o direttamente con un dry cooler. In entrambe le soluzioni, è necessaria un'alta efficienza di scambio termico.

La scelta di scambiatori di calore a piastre saldobrasate per questo genere di impianti risulta essere la più indicata, in quanto in grado di garantire tutta una serie essenziale di requisiti:

- Alta efficienza energetica
- Minime perdite di carico
- Resistenza alle pressioni elevate f.v. +50 bar
- Resistenza alle alte temperature -200 up to +300 C
- Impieghi in condizioni di 'full vacuum'

L'assenza di guarnizioni in questo tipo di scambiatori riduce inoltre al minimo gli interventi di manutenzione, e il design compatto e leggero assicura una facile installazione, grazie alle diverse opzioni di assemblaggio disponibili.

La dissipazione del calore residuo in un impianto di cogenerazione può essere infine ottenuta con diverse soluzioni, a seconda delle condizioni ambientali in cui si trova l'impianto produttivo:

- Torri evaporative
- Condensatori a piastre saldobrasate

- Condensatori evaporativi
- Dry cooler
- Free cooler
- Scambiatori a piastre



Modulo di cogenerazione fumi/acqua

## TERMOREGOLAZIONE NELLA PRODUZIONE DI VERNICI

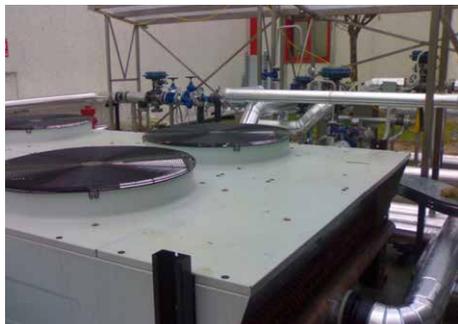
Gli impianti di produzione di vernici, come tutti i moderni processi di produzione industriale, necessitano di un preciso controllo della temperatura allo scopo di ottenere risultati qualitativi costanti e affidabili, con sistemi di termoregolazione che possano garantire con precisione e affidabilità i cicli di riscaldamento, mantenimento e raffreddamento finale legati alle diverse fasi di preparazione, produzione e confezionamento del prodotto. È il caso di un impianto realizzato per un produttore di vernici speciali per il settore alimentare, nel quale il cliente aveva messo a disposizione una caldaia a olio diatermico, come fluido caldo, mentre per tutto il ciclo di termoregolazione e raffreddamento è stato realizzato un sistema premontato su skid.



Centralina di  
termoregolazione  
T REG TCPU HC

Una centralina di termoregolazione della serie T REG TCPU HC, completa di scambiatori di calore a piastre, realizza le diverse fasi di riscaldamento, mantenimento, raffreddamento. Il fluido di regolazione è, appunto, olio diatermico, che viene mantenuto in circolazione tramite due pompe, delle quali una in stand-by.

La sezione di raffreddamento è realizzata mediante un free cooler, che produce l'acqua fredda nella stagione fredda, implementato da un chiller per i periodi più caldi. Il ciclo di raffreddamento parte infatti da temperature elevate (90°C), per le quali anche durante la stagione estiva il free cooler smaltisce con efficienza il calore, mentre per effettuare il raffreddamento finale con acqua fredda (15°C) subentra poi il chiller



Free Cooler T FIN TCFC per raffreddamento impianto di produzione vernici

Il tutto viene gestito da un termoregolatore plc (programmable logic controller) che controlla:

- Livelli di temperatura
- Rampe di salita e discesa
- Cicli di mantenimento
- Free cooling



Vaso di espansione  
per olio diatermico



Scambiatori e  
termoregolazione  
nell'aria compressa

Negli impianti industriali si fa largo utilizzo di aria compressa, sia per azionamenti pneumatici che per strumentazione di controllo. L'aria compressa viene fornita da compressori che possono avere taglie e dimensioni molto differenti, passando dal piccolo compressore per l'officina arrivando a centrali di compressione molto potenti e complesse. In ogni caso, queste macchine sviluppano calore e necessitano di un sistema di raffreddamento dedicato, che sui macchinari più piccoli è installato direttamente a bordo del compressore stesso (o addirittura il compressore si autoraffredda con l'aria ambiente circostante), mentre gli impianti di maggiori dimensioni richiedono un impianto dedicato in grado di fornire acqua raffreddata che viene fatta circolare nei compressori.



Impianto di raffreddamento per compressori d'aria con dry cooler

Il livello di freddo richiesto dai compressori d'aria non è mai troppo spinto, solitamente infatti le temperature richieste per l'acqua di raffreddamento si aggirano attorno ai +30 / +40°C. Si tratta pertanto di un'applicazione con un tipo di raffreddamento ottenibile con l'utilizzo di:

- Torri evaporative
- Raffreddatori evaporativi a circuito chiuso
- Dissipatori (dry cooler)

La selezione di un tipo di macchina piuttosto che un altro dipende da alcuni fattori, quali la presenza a bordo del compressore di scambiatori di interfaccia e le condizioni climatiche della zona di installazione. Infatti, a seconda che il compressore sia fornito o meno di scambiatori a bordo, il raffreddamento potrà essere realizzato con una torre o con un raffreddatore a circuito chiuso, questo perché far

circolare l'acqua di torre direttamente nelle camicie del compressore comporta un alto rischio di sporcamento e intasamento delle stesse, causando dei danni irreparabili al compressore, o comunque imponendo dei costi di manutenzione molto elevati.

Occorre sottolineare che, sebbene i compressori non richiedano acqua di raffreddamento a temperature molto basse, raggiungono nelle 'zone calde' temperature di parete elevate, che provocano la precipitazione dei carbonati nell'acqua circolante. Utilizzando acqua non trattata o incrostante, questo fenomeno causa un intasamento repentino delle camere di circolazione dell'acqua stessa. Con temperature ambientali che ne consentano l'utilizzo, è perciò sicuramente preferibile installare dei dry-cooler o dissipatori, in modo da avere un circuito chiuso senza contaminazioni dell'acqua.

Un'altra applicazione legata ai compressori interessa l'aria compressa stessa, che per essere fruibile nei processi che la impiegano deve essere raffreddata e deumidificata o essiccata. L'umidità presente nell'aria compressa ha infatti disastrosi effetti per tutte le componenti che la impiegano, quali azionamenti pneumatici, pistole di soffiaggio, utensili ad azionamento pneumatico, valvole di regolazione e strumenti di controllo.



Scambiatori a piastre saldobrasate per aria compressa

Per eliminare il contenuto di umidità dall'aria compressa è possibile ricorrere a essiccatori a cicli termici, che raffreddano l'aria facendole lambire superfici a bassa o bassissima temperatura, in modo da far condensare l'acqua presente nell'aria separandola. In questo modo si ottiene aria con un minor quantitativo di acqua assoluta, mentre con un post-riscaldamento successivo se ne controlla l'umidità relativa. Giocando sulle temperature, è possibile ottenere livelli di essiccamento piuttosto elevati.



Particolare di scambiatore a piastre per aria compressa

Questi sistemi si basano sull'impiego di gruppi frigoriferi abbinati a scambiatori di calore a superficie: l'aria viene fatta passare nel circuito secondario dello scambiatore, mentre nel primario possono circolare diversi fluidi, a seconda dei livelli di temperatura in gioco e delle tipologie di impianto, quali:

- Freon (espansione diretta)
- Acqua additivata con antigelo
- Acqua fredda

In anni recenti questi sistemi hanno subito un forte sviluppo grazie alla sempre maggiore efficienza degli scambiatori di calore, più innovativi, compatti e performanti dei tradizionali scambiatori a fascio tubiero, e che sempre più vengono impiegati in funzione di dryer per questo genere di applicazione. Ormai centinaia sono infatti le applicazioni realizzate con l'impiego di scambiatori di calore a piastre, anche su portate di aria compressa decisamente importanti se non addirittura su impianti di produzione di gas tecnici. Scambiatori di calore a piastre sono infatti impiegati come dryer:

- A valle delle colonne di distillazione per il raffreddamento finale nella produzione di vari tipi di gas
- A monte, per il raffreddamento dell'aria in ingresso ai compressori



Impianto di frazionamento all'interno di un impianto petrolchimico

Applicazioni sempre più diffuse, che richiedono però una certa esperienza nel dimensionamento, nonché alcune accortezze nell'installazione, soprattutto quando si devono prendere in considerazione le condense generate dalla deumidificazione dell'aria.

## SCAMBIATORI PER SOLARE TERMICO A CONCENTRAZIONE

Gli scambiatori di calore trovano applicazione anche nel settore delle energie alternative: un'interessante applicazione sviluppata recentemente da Tempco ha riguardato l'implementazione di uno scambiatore nel banco per i test di prova di un innovativo impianto solare termico a concentrazione. Il solare termico a concentrazione è una tecnologia che sfrutta un concentratore, o collettore solare, un dispositivo che provvede a raccogliere la radiazione solare da grandi spazi tramite pannelli riflettenti dalla studiata conformazione, che convogliano la radiazione sulla ristretta superficie di un tubo ricevitore, o assorbitore, all'interno del quale scorre un liquido, un fluido termovettore che accumula calore da convertire generalmente in energia elettrica, attraverso cicli termodinamici acqua-vapore.



Impianto solare termico a concentrazione

Lo specifico progetto di concentratore solare parabolico assiale, nato dall'iniziativa di un gruppo di ricerca in ambito accademico nelle Marche, comportava l'esigenza di misurare l'efficienza del sistema attraverso un banco prova dotato di un adeguato scambiatore di calore che rispondesse a requisiti ben definiti: il PTC.testbench (dove PTC sta per parabolic trough collector) deve essere in grado di provare i concentratori in un ampio range di temperature (da 15 a 150°C), lavorando sia con olio diatermico sia con acqua come fluidi termovettori. In aggiunta, un ulteriore requisito è subito emerso, ovvero il fatto che diverse quantità di calore devono poter essere smaltite con la stessa portata sul circuito primario dello scambiatore.



Test Bench per test di prova con acqua e olio diatermico in impianto solare termico a collettore

Per soddisfare le esigenze applicative, è stato costruito uno scambiatore a piastre dimensionato sulle condizioni più gravose e verificato per tutte le condizioni di carico,

con piastre saldobrasate al nickel per resistere alle temperature più elevate ed evitare corrosione in presenza di acqua demineralizzata. Lo scambiatore così progettato consente di effettuare campagne di test sia con acqua, in un range operativo di temperature comprese fra i 30°C e i 75°C, che con olio, in un range di lavoro più ampio, fino a raggiungere i 150°C.

## CONCLUSIONI

In chiusura di questo manuale sulla gestione dell'energia termica nei vari processi produttivi industriali, rileggendo quanto scritto abbiamo avuto altre idee... avremmo voluto inserire ulteriori casi pratici che ci si sono presentati negli ultimi periodi, nuove applicazioni personalizzate e speciali, legate all'ambito del nostro lavoro quotidiano, ma così facendo non avremmo mai potuto mettere la parola fine, rischiando di far pesare troppo quello che vorrebbe essere un libretto semplice e di facile fruizione, anche da parte dei meno tecnici. Ci siamo però riproposti di tornare, con degli approfondimenti specifici e con una sorta di manuale per non addetti ai lavori.

Insomma le idee non mancano, se volete rimanere aggiornati potete collegarvi su **[www.tempcoblog.it](http://www.tempcoblog.it)** e su **[www.tempcoblog.com](http://www.tempcoblog.com)**

Infine, una 'nota editoriale': questo libro è stato preparato e scritto a 4 mani con il supporto e i suggerimenti di Marco Zambelli, che si è lasciato coinvolgere nel nostro lavoro in Tempco. Grazie alla sua preparazione e alla sua disponibilità, che ha apportato nuove idee, dando un filo logico alla mole di appunti iniziale.

Valter Biolchi



© 2013-2019 Valter Biolchi / TEMPCO SRL

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del libro può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, scansioni digitali, fotografie o altro, senza il permesso dell'autore.

All rights reserved. No part of this book shall be reproduced, stored in retrieval system, or transmitted by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without written permission from the author.