

### TRASFERIMENTO DI CALORE

Il trasferimento di calore da un mezzo all'altro è regolato dalle seguenti semplici regole:

- il calore passa dal mezzo più caldo a quello più freddo;
- deve sussistere una situazione di squilibrio (in questo caso la differenza di temperatura);
- il calore ceduto dal mezzo caldo dev'essere tutto assorbito dal mezzo freddo, fatte salve le perdite dovute all'ambiente circostante.



### SCAMBIATORI

Ci sono due tipi principali di scambiatori:

- scambiatori diretti, in cui i fluidi tra cui avviene il trasferimento di calore vengono messi a contatto e poi separate. Il procedimento presuppone che i due fluidi siano immiscibili; si può prendere come esempio le [torri evaporative](#) in cui l'acqua viene raffreddata dal diretto contatto con l'aria;
- scambiatori indiretti, in cui i fluidi vengono tenuti separati da una parete, attraverso cui avviene lo scambio termico.

Lo [scambiatore di calore a piastre](#) ad esempio è di tipo indiretto in cui il calore viene trasmesso per conduzione (attraverso le piastre) e per convezione tra il fluido e le piastre.

Formula dello scambio termico

In un fluido monofase, la quantità di calore trasferito è indicata dalla seguente formula:

$$Q = (m_1 \cdot C_p \cdot \Delta t) = (m_2 \cdot C_p \cdot \Delta t)$$

Questa equazione indica le esigenze della specifica applicazione.

La quantità di calore che lo scambiatore può trasferire è espressa dalla seguente relazione:

$$Q = k \cdot A \cdot \text{LMTD}$$

In cui:

Q = quantità di calore

A = superficie di scambio

k = coefficiente globale di scambio termico

LMTD =  $\Delta t$  medio logaritmico

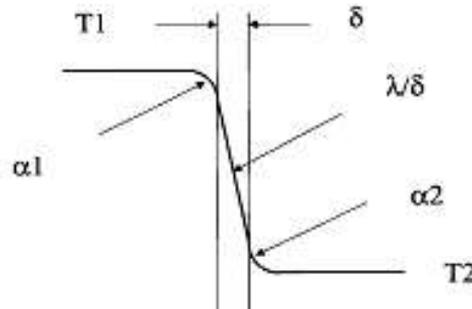
In uno scambiatore dimensionato correttamente, le due equazioni dovrebbero dare lo stesso risultato.

## COEFFICIENTE GLOBALE DI SCAMBIO TERMICO

Il processo di scambio termico da un fluido all'altro si sviluppa in tre passaggi (si veda la figura seguente):

1. per prima cosa avviene il trasferimento di calore dalla massa del mezzo caldo alla piastra che separa i due fluidi;
2. quindi il calore viene trasferito attraverso la piastra, secondo la conducibilità termica del materiale della piastra stessa;
3. infine il calore viene trasferito dalla piastra alla massa del mezzo freddo.

Di conseguenza, la resistenza totale al trasferimento di calore in uno scambiatore è data dalla somma di tre singole resistenze.



$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{(\lambda/\delta)_{\text{piastra}}}$$

L'equazione è valida per un'applicazione che non presenta fattori di sporcamento. In caso contrario, bisogna considerare una resistenza ulteriore ([fouling factor](#)) o prevedere un margine di sovradimensionamento.

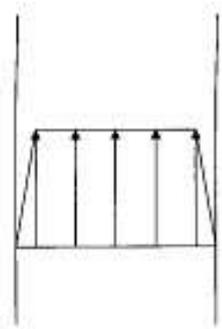
Per quantificare il valore di k, bisogna determinare il coefficiente limite di ogni fluido, conoscere lo spessore e la conducibilità termica delle piastre e se è necessario inserire un margine di sovradimensionamento.

Il coefficiente film esprime la resistenza al trasferimento di calore nei [fluidi laminari](#) vicino alla superficie di scambio. Per ottenere un coefficiente film il più alto possibile bisogna mantenere lo strato di fluido il più sottile possibile.

Per ottenere un elevato coefficiente film bisogna:

1. *Mantenere il fluido a velocità elevata. Ci sono due tipi principali di flusso.*

[Flusso turbolento](#), significa che c'è una velocità uniforme nei canali delle piastre. Le singole particelle di fluido hanno velocità e direzioni differenti all'interno del flusso, così da creare uno strato di fluido molto sottile e quindi un alto coefficiente film.



Gli scambiatori a piastre possono avere un'elevata turbolenza, grazie al ridotto spazio tra le piastre e al grande numero di punti di contatto che si creano quando le piastre vengono compresse.

Flusso laminare, significa che c'è un elevato gradiente di velocità nei canali delle piastre, con il picco di velocità nella parte centrale. Tutte le particelle del fluido scorrono nella stessa direzione, così da creare un sottile strato di fluido e quindi un basso coefficiente film.



2. Mantenere bassa la viscosità del fluido.

Un fluido viscoso tenderà a scorrere in linea retta e quindi il calore verrà trasmesso principalmente per conduzione attraverso le particelle di liquido in movimento una in parallelo all'altra. Al contrario, un fluido a bassa viscosità tenderà a scorrere con moto turbolento, quindi le particelle di fluidi trasferiranno il calore per convezione.

3. Avere un'alta capacità termica del fluido.

Se il fluido ha un'alta capacità termica, può assorbire una grande quantità di calore da una superficie di scambio, anche in presenza di  $\Delta t$  ridotti.

ma questo può non essere controllabile, dato che i fluidi utilizzati spesso sono imposti dal processo o dalle utilities a disposizione.

4. Avere un'alta conducibilità termica del fluido.

Anche questo non è sempre controllabile.

5. Mantenere una distanza ridotta tra le superfici di scambio.

È ovviamente importante che si mantengano distanze ridotte, perché il calore deve muoversi dalla massa del fluido alle superfici di scambio che lo circondano. Motivo questo per il quale si tende a fare piastre con ridotto pressing depth.

Scelta delle piastre e valutazione del calore trasferito utilizzando la lunghezza termica

Abbiamo definito la lunghezza termica di uno scambiatore ( $\Theta$ ) come la capacità dello scambiatore stesso di modificare la temperatura del mezzo dato un certo  $\Delta t$  tra i due fluidi.

$\Theta$  è un valore importante nel dimensionamento di uno scambiatore.

Riassumiamo quanto detto prima:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \delta t \qquad Q = k \cdot A \cdot LMTD$$

Se ne deduce quindi che:

$$m \cdot c_p \cdot \delta t = k \cdot A \cdot LMTD$$

Da quest'ultima equazione derivano le seguenti uguaglianze:

$\frac{\delta t}{LMTD} = \Theta = \frac{k \cdot A}{m \cdot c_p}$	$A = \frac{m \cdot c_p \cdot \Theta}{k}$
--	--

Come si può vedere, quando il valore di  $m$  cresce, cresce anche la superficie di scambio e bisogna prevedere più piastre o più tubi. Se invece è il valore di  $\Theta$  a crescere, sono necessari piastre o tubi più grandi.

Scegliere un modello di scambiatore

Nella scelta del modello di scambiatore a piastre da adottare, vanno considerati i seguenti punti.

- a) Diametro delle connessioni, nella maggior parte dei casi il volume di fluido da trasportare condiziona la scelta del modello di scambiatore.
- b) Massimo numero di piastre, quando si è vicini al limite massimo di piastre potrebbe essere conveniente saltare al modello superiore con un numero minore di piastre.
- c) Lunghezza termica del tipo di piastre ( $\Theta$ ).

Per poter dimensionare uno scambiatore è necessario possedere le seguenti informazioni su entrambi i fluidi:

- portata;
- temperatura in entrata;
- temperatura in uscita;
- perdita di carico massima ammissibile.

Nel dimensionare uno scambiatore, il calore trasferito o la perdita di carico sono fattori limitanti. Di solito, più la perdita di carico è elevata e più lo scambio termico è efficace. Un bassa perdita di carico comporta un trasferimento di calore meno efficiente, piastre con una superficie più ampia e un maggior sovradimensionamento. È anche possibile che ci siano abbastanza piastre per trasferire tutto il calore, ma la perdita di carico non è sfruttata appieno. Riducendo il numero delle piastre, lo scambiatore non sarebbe più efficace. Nei vari casi lo scambiatore sarebbe limitato idraulicamente o termicamente, raramente si riescono a bilanciare le due variabili.



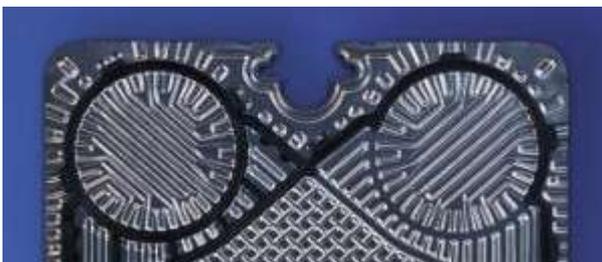
## COEFFICIENTE GLOBALE DI SCAMBIO TERMICO

In parecchi articoli apparsi su queste pagine, si è parlato di [coefficiente globale di scambio termico](#), o di trasmissione del calore.

Tale coefficiente, viene utilizzato per il corretto dimensionamento degli [scambiatori di calore](#).

Come più volte sottolineato, il coefficiente globale di scambio termico, non è sempre uguale, ma cambia in funzione di:

- tipi di fluidi interessanti allo scambio termico
- tipo di scambiatore
- velocità dei fluidi all'interno dello scambiatore
- regime di turbolenza/linearità del moto dei fluidi



Possiamo affermare senza tema di smentita, che è un valore intrinseco al progetto dello scambiatore, che assume rilevante importanza nel corretto dimensionamento delle apparecchiature stesse.

Di seguito trovate una tabella riportante alcuni dei valori tipici di scambio termico, per i più comuni casi che si presentano nella normale pratica.

**TYPICAL OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENTS (U - VALUES)**

<b>Shell and Tube Heat Exchangers</b>	<b>Hot Fluid</b>	<b>Cold Fluid</b>	<b>U [W/m<sup>2</sup>C]</b>
<b>Heat Exchangers</b>	Water	Water	800 - 1500
	Organic solvents	Organic Solvents	100 - 300
	Light oils	Light oils	100 - 400
	Heavy oils	Heavy oils	50 - 300
	Reduced crude	Flashed crude	35 - 150
	Regenerated DEA	Foul DEA	450 - 650
	Gases (p = atm)	Gases (p = atm)	5 - 35
	Gases (p = 200 bar)	Gases (p = 200 bar)	100 - 300
<b>Coolers</b>	Organic solvents	Water	250 - 750
	Light oils	Water	350 - 700
	Heavy oils	Water	60 - 300
	Reduced crude	Water	75 - 200
	Gases (p = atm)	Water	5 - 35
	Gases (p = 200 bar)	Water	150 - 400
	Gases	Water	20 - 300
	Organic solvents	Brine	150 - 500
	Water	Brine	600 - 1200
	Gases	Brine	15 - 250
<b>Heaters</b>	Steam	Water	1500 - 4000
	Steam	Organic solvents	500 - 1000
	Steam	Light oils	300 - 900
	Steam	Heavy oils	60 - 450
	Steam	Gases	30 - 300
	Heat Transfer (hot) Oil	Heavy oils	50 - 300
	Heat Transfer (hot) Oil	Gases	20 - 200
	Flue gases	Steam	30 - 100
	Flue gases	Hydrocarbon vapours	30 - 100
	<b>Condensers</b>	Aqueous vapours	Water
Organic vapours		Water	700 - 1000
Refinery hydrocarbons		Water	400 - 550
Vapours with some non condensibles		Water	500 - 700
Vacuum condensers		Water	200 - 500
<i>Vaporisers</i>			
Steam		Aqueous solutions	1000 - 1500
Steam		Light organics	900 - 1200
Steam		Heavy organics	600 - 900
Heat Transfer (hot) oil		Refinery hydrocarbons	250 - 550

**TYPICAL OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENTS (U - VALUES)**

<b>Air Cooled Exchangers</b>	<b>Process Fluid</b>		<b>U [W/m<sup>2</sup>C]</b>
	Water		300 - 450
	Light organics		300 - 700
	Heavy organics		50 - 150
	Gases		50 - 300
	Condensing hydrocarbons		300 - 600
<b>Immersed coils</b>	<b>Coil</b>	<b>Pool</b>	<b>U [W/m<sup>2</sup>C]</b>
<b>Natural circulation</b>	Steam	Dilute aqueuous solutions	500 - 1000
	Steam	Light oils	200 - 300
	Steam	Heavy oils	70 - 150
	Aqueuous solutions	Water	200 - 500
	Light oils	Water	100 - 150
<b>Agitated</b>	Steam	Dilute aqueuous solutions	800 - 1500
	Steam	Light oils	300 - 500
	Steam	Heavy oils	200 - 400
	Aqueuous solutions	Water	400 - 700
	Light oils	Water	200 - 300
<b>Jacketed vessels</b>	<b>Jacket</b>	<b>Vessel</b>	<b>U [W/m<sup>2</sup>C]</b>
	Steam	Dilute aqueuous solutions	500 - 700
	Steam	Light organics	250 - 500
	Water	Dilute aqueuous solutions	200 - 500
	Water	Light organics	200 - 300