



asdf

CENNI SUGLI SCAMBIATORI DI CALORE

24 January 2012

Introduzione all'articolo

Il seguente breve articolo ha l'intento di rendere note le linee generiche (quindi senza alcuna presunzione di definirsi esaustivo al 100%) di alcuni degli aspetti principali relativi agli scambiatori di calore, raccogliendo e sistemando gli appunti presi durante i corsi. Dopo una definizione iniziale di cosa sia uno scambiatore di calore, verranno analizzate in via panoramica alcune tipologie di scambiatori di calore. Verranno poi definite, anche analiticamente, le prestazioni di uno scambiatore di calore.

Definizione

Uno **scambiatore di calore** (per comodità di scrittura e di lettura lo chiameremo nel corso della trattazione con la sigla **SDC**) è un dispositivo che permette il trasferimento di energia termica da un fluido a temperatura maggiore ad uno a temperatura minore.

Cercando di essere più specifici si può dire che assolve ad una duplice funzione:

- modifica lo stato termodinamico di una corrente fluida per interazione termica con un'altra;
- consente il trasferimento di una **potenza termica** tra una superficie solida ed una corrente fluida.

E' tra i componenti termodinamici più diffusi ed impiegati e presenta una ampia gamma di applicazioni.

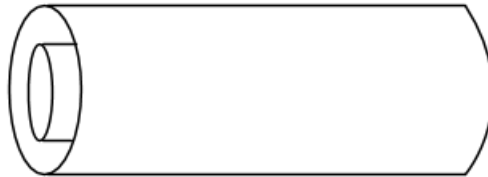
Tipologie di scambiatori di calore

Il processo di scambio termico tra due fluidi può essere compiuto in vari modi e altrettante sono le tipologie di SDC che possono essere definite in base a vari fattori:

- materiali costruttivi;
- tipo dei fluidi che vi evolvono;
- disegno termofluidodinamico.

Un modo sicuramente semplice per realizzare la trasmissione di calore tra i due fluidi si ottiene facendo scorrere un fluido nel tubo interno e l'altro fluido nella zona anulare che si trova tra il tubo interno e quello esterno di due tubi coassiali, come rivelato dalla figura schematica posta sotto.

Questo sistema

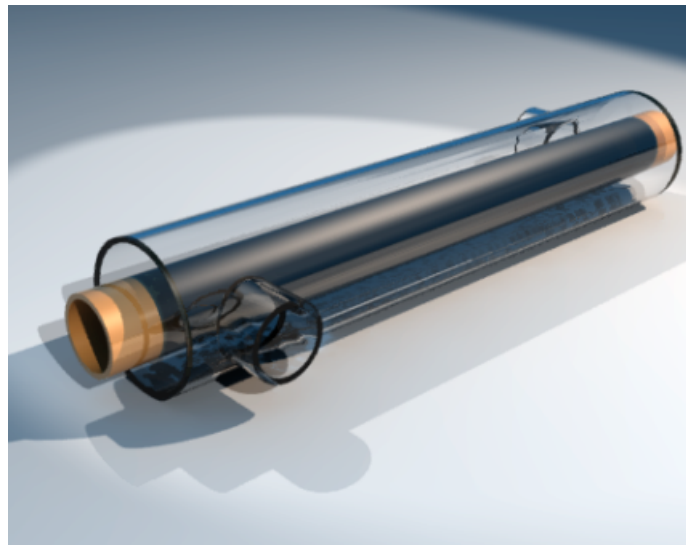


porta ad evidenziare due volumi di controllo:

- uno è caratterizzato dal fluido che evolve nel tubo interno;
- l'altro è caratterizzato dal fluido che evolve nella zona anulare tra tubo interno ed esterno.

In sostanza il processo di scambio termico è semplice: infatti sezione per sezione vi è sempre una differenza di temperatura tra il fluido a temperatura maggiore (*fluido caldo*) e quello a temperatura minore (*fluido freddo*) che consente il trasferimento di energia termica tra i due (dal primo al secondo ovviamente).

Uno scambiatore di calore che opera secondo tale modalità è detto **a tubi coassiali** o **tubo in tubo**.



tubo in tubo

Per gli SDC di tale tipo vi sono due possibili condizioni di flusso:

- i due fluidi scorrono nella stessa direzione e verso (*equicorrente*);
- i due fluidi scorrono nella stessa direzione ma in verso opposto (*controcorrente*).

Seppure il funzionamento sia semplice, come visto, questo tipo di SDC presenta ingombri elevati e quindi è raramente impiegato.

Più diffuso è invece lo scambiatore **a tubi e mantello**. In esso un fluido scorre nel fascio di tubi e l'altro fluido evolve tra la superficie interna del mantello e quella esterna dei tubi. Un esempio di SDC a tubi e mantello è mostrato dalla seguente figura:



tubi e mantello

Gli elementi principali sono:

- **testata di ingresso** (*head*), non del tutto semicircolare, ma leggermente allungata, che consente di indirizzare il fluido nei tubi favorendone una distribuzione quanto più uniforme possibile;
- **piastra** (*tubesheet*), a cui è collegata la testata, che è provvista di fori in cui sono allocate le estremità dei tubi del fascio tubiero (*tube bundle*);
- **mantello** (*shell*) che contiene il **fascio tubiero** e, spesso, anche alcuni **diaframmi**, i quali servono ad incrementare la turbolenza del fluido che scorre nel mantello, rendendo la trasmissione del calore più efficiente.

Va precisato che la distanza tra gli assi di due tubi è detta **passo**.

L'utilizzazione più efficiente degli SDC a tubi e mantello si ottiene quando entrambi i fluidi sono in fase liquida. Infatti le applicazioni in cui almeno uno dei due fluidi è un aeriforme richiederebbero aree di superficie di scambio termico elevate, in quanto è risaputo che il coefficiente di convezione degli aeriformi è inferiore (in ordini di grandezza) a quello dei liquidi.

Uno SDC analogo a quello a tubi e mantello è quello **a flussi incrociati**. In esso i due fluidi evolvono seguendo direzioni perpendicolari tra loro. Il fluido che scorre nei condotti è detto *non mescolato*, mentre l'altro può essere *mescolato* o *non mescolato*.

Diversa è poi la tipologia di scambiatori di calore **a piastre alettate** o **compatti**. In essi si realizzano valori molto elevati del rapporto tra l'area di scambio termico e il volume. Sono formati da una successione di piastre alettate, sulle cui superfici sono ricavati i canali in cui evolvono i fluidi caldo e freddo. Svariate sono le configurazioni di SDC a piastre alettate. Nella seguente figura è ritratto uno scambiatore di calore a piastre intercambiabili:



a piastre intercambiabili

Gli scambiatori compatti sono adoperati frequentemente quando uno o entrambi i fluidi sono allo stato aeriforme: le elevatissime aree di scambio termico per unità

di volume permettono il trasferimento di potenze termiche accettabili malgrado i modesti coefficienti di convezione degli stessi aeriformi.

Prestazioni degli scambiatori di calore

Nel progettare e valutare le prestazioni di uno SDC, bisogna fare riferimento ad alcune ipotesi di partenza:

- condizioni di regime stazionario;
- trascurabilità della potenza termica dispersa verso l'ambiente esterno (intenderemo quindi che la potenza termica trasferita integralmente al fluido freddo);
- calori specifici dei due fluidi uniformi;
- conduttanza unitaria globale tra i due fluidi uniforme.

Inoltre, la valutazione delle prestazioni di uno scambiatore di calore richiede la conoscenza di una più grandezza, tra quelle elencate di seguito:

- temperatura del fluido caldo all'ingresso dello SDC, T_{ic} ;
- temperatura del fluido freddo in ingresso nello SDC, T_{if} ;
- temperatura del fluido caldo in uscita dallo SDC, T_{uc} ;
- temperatura del fluido freddo in uscita dallo SDC, T_{uf} ;
- potenza termica ceduta dal fluido caldo, $\dot{Q}_c$, e ricevuta dal fluido freddo, $\dot{Q}_f$, come detto prima uguali, $\dot{Q}_c = \dot{Q}_f = \dot{Q}$.

Le potenze termiche sono espresse in W, mentre le temperature in K.

Le potenze termiche si possono esprimere in termini di variazione dell'entalpia di ciascun fluido:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c c_c (T_{ic} - T_{uc})$$

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_f c_f (T_{uf} - T_{if})$$

dove:

- $\dot{m}_c$ è la portata del fluido caldo (espressa in kg / s);
- $\dot{m}_f$ è la portata del fluido freddo (espressa in kg / s);
- c_c è il calore specifico del fluido caldo (espressa in J / kgK);
- c_f è il calore specifico del fluido freddo (espressa in J / kgK).

L'area della superficie di scambio è A (espressa in m^2), mentre la conduttanza unitaria globale, U (espressa in $\text{W} / \text{m}^2\text{K}$, si ricava dalla relazione:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_f} + \frac{1}{h_c} + \frac{s}{k}}$$

dove:

- $\bar{h}_c$ è il coefficiente di convezione sul lato del fluido caldo (espressa in $\text{W} / \text{m}^2\text{K}$);
- $\bar{h}_f$ è il coefficiente di convezione sul lato del fluido freddo (espressa in $\text{W} / \text{m}^2\text{K}$);
- s è lo spessore della parete che separa il fluido caldo dal fluido freddo (espresso in m);
- k è la conducibilità termica della parete (espressa in W / mK).

Vari sono i metodi per valutare le prestazioni di uno SDC. Presentiamo di seguito quello dell'**efficienza**, diffuso e di facile impiego.

Esso si fonda sulla correlazione tra significativi parametri dimensionali:

$$\varepsilon = f\left(\frac{AU}{C_{min}}, C_{min}/C_{max}\right)$$

in cui l'efficienza ε è definita come il rapporto tra la potenza termica scambiata tra i due fluidi e la potenza termica che verrebbe scambiata in uno SDC ideale:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{id}}$$

Si deduce che l'efficienza massima nel trasferimento di calore si avrebbe nel caso di uno scambiatore di calore con superficie infinita, a tubi coassiali in controcorrente, che rappresenta quindi la configurazione che garantirebbe lo sfruttamento ottimale della superficie di scambio, poiché massimizza l'uniformità della differenza di temperatura tra i due fluidi lungo lo SDC.

Si dimostra che:

$$\dot{Q}_{id} = C_{min}(T_{ic} - T_{if})$$

dove C_{min} è la minore tra le **capacità termiche orarie** del fluido caldo e del fluido freddo.

Possiamo quindi riscrivere l'efficienza come:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{C_{min}(T_{ic} - T_{if})}$$

L'efficienza può assumere valori tra lo 0 e l'1 (quest'ultimo è un limite puramente teorico).

Il rapporto tra la conduttanza termica totale dello SDC e la capacità termica oraria minima può assumere valori che vanno da 0 ad ∞ , limiti entrambi teorici.

Il rapporto tra le capacità termiche orarie minima e massima è minore o uguale a 1 e maggiore o uguale a 0. Se il valore è nullo, uno dei due fluidi è in passaggio di fase. ci troveremmo di fronte ad uno SDC detto **condensatore** o **evaporatore**.

Precisiamo infine che l'efficienza di uno SDC dipende sì dai due rapporti prima citati ma anche dalla geometria dello scambiatore stesso.

Conclusioni

Nel seguente articolo abbiamo quindi visto in via panoramica cosa è uno scambiatore di calore, a partire dalla sua definizione più pratica, cioè di componente di un sistema termodinamico che permette il trasferimento di energia in modalità calore da un fluido all'altro.

E' stata fatta una breve rassegna di alcune tipologie di SDC cercando di mettere in evidenza i vantaggi e gli svantaggi nell'utilizzo dell'uno o dell'altro modello. Sono stati visti gli scambiatori di calore a tubi coassiali, a tubi e mantello, a flussi incrociati e a piastre alettate.

E' stato esposto infine il metodo dell'efficienza, che è quello più semplice per valutare le prestazioni di uno scambiatore e si è ricavato come l'efficienza di uno scambiatore dipenda da vari parametri specifici, oltre ai fattori più consueti come la geometria dello scambiatore stesso.

Estratto da ["http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Asdf:generalit-sugli-scambiatori-di-calore"](http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Asdf:generalit-sugli-scambiatori-di-calore)