
Termodinamica applicata

Efficienza dei terminali di erogazione del calore in sistemi a bassa/ alta temperatura

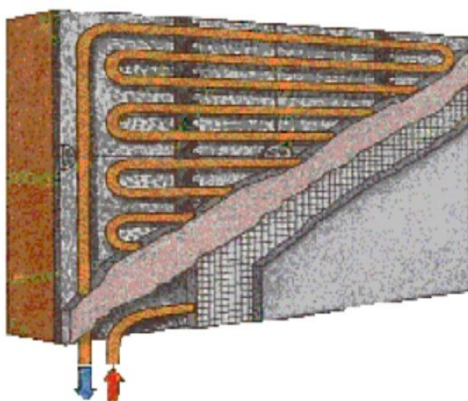
Prof. M. Cerani, 2017

Sommario

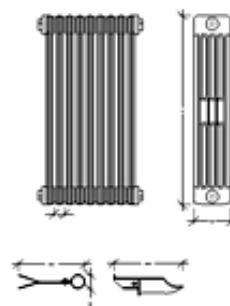
Premessa	1
SISTEMI AD ALTA TEMPERATURA.....	2
SISTEMI A BASSA TEMPERATURA.....	2
Dati	3
ANALISI IN BASE AL 1° PRINCIPIO.....	4
ANALISI IN BASE AL 2° PRINCIPIO	4
Conclusioni	6

Premessa

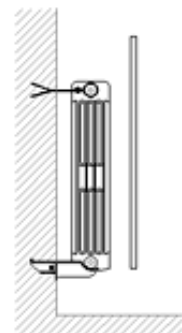
In questa esercitazione vogliamo analizzare due tipologie di terminali di erogazione di calore, per ricavarne l'efficienza di conversione energetica in base al primo e al secondo principio. Tale semplice analisi consente di trarre conclusioni generali rilevanti.



TIPO DI RADIATORE IN GHISA A COLONNA



SCHEMI DI MONTAGGIO DEI RADIATORI



SISTEMI AD ALTA TEMPERATURA

I terminali di riscaldamento ad alta temperatura sono i più diffusi, in quanto sono alimentati con generatori che possono lavorare solo con acqua ad alte temperature, tipicamente 60-80°C. Sono terminali in acciaio o alluminio, alettati per favorire lo scambio termico, posizionati a parete.

A pari superficie hanno potenze trasmesse elevate; operano prevalentemente per convezione, ossia muovendo l'aria e così facendo creano una stratificazione, per cui si possono avere 17°C a terra e 23°C presso il soffitto. In alcune nazioni sono collocati presso le finestre, per fungere anche da barriera termica, in altre nazioni sulle pareti opposte .

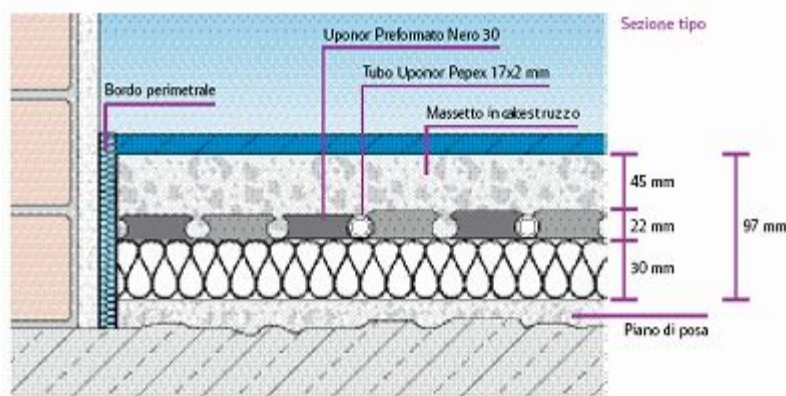
Causano nel tempo l'effetto di carbonizzazione delle particelle di polvere trascinate nei moti convettivi, che provocano i tipici aloni neri sulle pareti.



SISTEMI A BASSA TEMPERATURA

Si tratta di anelli o serpentine annegate nel massetto dei pavimenti, o sotto l'intonaco delle pareti, percorsi da acqua a bassa temperatura, prodotta da moderne caldaie operanti a bassa temperatura, tipicamente generatori a condensazione.

Considereremo una temperatura dell'acqua nei tubi di 35°C, intermedio tra quelli previsti dalle norme tecniche in base al passo delle serpentine, al carico termico richiesto dagli ambienti. Riscaldano prevalentemente per irraggiamento, quindi determinando una distribuzione di temperatura più uniforme.



Dati

Confrontiamo due tipi di terminali. Il sistema 1 è costituito da terminali ad alta temperatura: consideriamo una temperatura superficiale di 70°C ed una temperatura ambiente di 20°C. Il sistema 2 è costituito da terminali annegati nel pavimento, operanti a 35°C, con temperatura dell'aria nel locale di 18°C.

Entrambi garantiscono le stesse condizioni di benessere per gli occupanti: il primo in quanto opera prevalentemente per convezione, il secondo per irraggiamento, consentendo una temperatura media dell'aria più bassa.

Ipotesizziamo di dover trasferire una potenza termica di 1 kW. Nella tabella abbiamo riassunto anche i rendimenti di emissione e regolazione come riportati dalle UNI TS 11300.

Rendimento di regolazione: esprime il rapporto tra calore richiesto dall'ambiente con regolazione teorica e con regolazione reale.

Rendimento di emissione: rapporto tra il calore richiesto da un sistema di emissione che garantisce una temperatura perfettamente uniforme nel locale riscaldato, e calore richiesto da un sistema reale a pari condizioni di temperatura ambiente ed esterna.

Ad esempio: come regola la fornitura un sistema per effetto di ingressi di radiazione solare dalle finestre? Dovrebbe idealmente intervenire istantaneamente per ridurre la potenza termica per mantenere comunque la temperatura a 20°C. In realtà così non è.

Entrambe le caratteristiche dei radiatori sono fornite, con riferimento alla capacità di emissione del calore in ambiente e alla capacità di regolazione.

	Sistema 1: alta temperatura	Sistema 2: bassa temperatura
Temperatura aria in condizioni di benessere	20°C	18°C
Temperatura dell'elemento scaldante	70°C = 343K	35°C = 308 K
Potenza termica trasferita	1 kW	1 kW
Rendimento di emissione	0,95	0,98
Rendimento di regolazione	0,97	0,96

Non consideriamo il generatore e le perdite di distribuzione, che assumiamo eguali per i due sistemi.

ANALISI IN BASE AL 1° PRINCIPIO

La potenza trasferita all'ambiente, è determinata moltiplicando i rendimenti prima descritti: nel caso del terminale ad alta temperatura da 1000 W otterremmo 921,5 W utili. Nel secondo caso, otterremmo 940,8 W. Il secondo sistema è più efficiente, ma la differenza è pari al 2%, quindi molto limitata.

ANALISI IN BASE AL 2° PRINCIPIO

Calcoliamo la produzione di entropia complessiva nell'ambiente, dovuta allo scambio termico tra terminale e aria ambiente. Essa è data come noto da due termini: l'entropia associata all'uscita di calore dal terminale e quella associata all'ingresso del calore nell'aria ambiente. Disponendo delle potenze termiche, calcoliamo i flussi di entropia, in W/K.

I segni dipendono dal segno del flusso di calore: se uscente negativo, se entrante positivo.

Sistema 1	Sistema 2
$\dot{S}_1 = -\frac{\dot{Q}}{T_s} + \frac{\dot{Q}}{T_a} = -2,91 + 3,41 = 0,5 \text{ W/K}$	$\dot{S}_2 = -\frac{\dot{Q}}{T_s} + \frac{\dot{Q}}{T_a} = -3,24 + 3,43 = 0,19 \text{ W/K}$

Il sistema radiante incrementa in misura decisamente inferiore l'entropia, con una riduzione del 60% circa rispetto al sistema 1. La produzione di entropia è un indicatore di irreversibilità del sistema e ove è maggiore si ha una maggiore inefficienza.

Ricordiamo che nell'analisi entropica è contenuto anche il primo principio, quindi è solamente questa analisi che ci dà indicazioni scientificamente complete sull'efficienza di un sistema termodinamico.

Un altro modo di utilizzare l'analisi entropica è quello di fare riferimento alla grandezza EXERGIA, ossia la massima capacità di compiere lavoro di un sistema termodinamico che si porta in equilibrio con l'ambiente di riferimento.

Nel nostro caso il ragionamento è particolarmente semplice: il massimo lavoro estraibile da una sorgente di calore è dato dal prodotto del rendimento di Carnot per tale quantità di calore (o potenza termica). Mostriamo come si giunge a ciò.

Rendimento: è definito come rapporto tra lavoro prodotto e calore entrante ad alta temperatura.

$$\eta = \frac{L}{Q_H}$$

Per uno scambiatore, quale il radiatore o i pannelli radianti a pavimento:

$$\eta = \frac{Q_L}{Q_H}$$

Dalla relazione iniziale, valida per una macchina motrice:

$$L = \eta * Q_H$$

Ciclo ideale di Carnot per una macchina operante tra due temperature (H= T superiore, 0 = T inferiore pari a quella ambiente): il suo rendimento vale

$$\eta_c = 1 - \frac{T_0}{T_H}$$

Massimo lavoro estraibile dalla quantità di calore:

$$L = Q_H * \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) = \text{exergia del calore}$$

L'exergia è il prodotto del calore scambiato per il "fattore di Carnot". Rendimento exergetico nello scambio di calore:

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_{out}}{Ex_{in}} = \frac{Q_L * \left(1 - \frac{T_0}{T_L}\right)}{Q_H * \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right)} = \eta_I * \frac{\left(1 - \frac{T_0}{T_L}\right)}{\left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right)}$$

Esso è esprimibile come prodotto del rendimento di primo principio, moltiplicato per il rapporto dei fattori di Carnot. Ora confrontiamo i risultati dei due sistemi in termini di rendimento exergetico, utilizzando le potenze e le temperature:

	Rendimento di primo principio	T _L	T _H	η _{ex}
Sistema 1: alta temperatura	0,921	293	343	0,31
Sistema 2: bassa temperatura	0,94	291	303	0,58

L'efficienza del secondo sistema è superiore dell'87% rispetto al primo, a conferma di quanto ottenuto con l'uso della funzione di stato entropia.

Conclusioni

Questa analisi si è limitata a valutare l'efficienza del sistema terminale di un impianto di riscaldamento, consentendo di evidenziare il vantaggio termodinamico derivante dall'uso dei dispositivi che operano a basse temperature.

L'analisi entropica chiarisce che non deve essere considerato semplicemente il rendimento di primo principio, ma soprattutto quello di 2° principio. Se la sorgente di calore opera ad una temperatura prossima a quella dell'utilizzatore, si ha una maggiore efficienza, ossia una minore distruzione di exergia.

Ha poco senso insistere con l'incrementare l'efficienza dei sistemi per produrre l'energia, visto che è molto più rilevante per l'analisi entropica operare per fornire energia da fonti ad un livello di temperatura prossimo a quello richiesto dagli utilizzatori.

Sottolineiamo che l'uso di sistemi di produzione rinnovabile, in particolare

- collettori solari termici;
- pompe di calore che prelevano calore dall'aria, dal terreno o da falde,

è quello che maggiormente rispetta le leggi termodinamiche di cui sopra.

Anche il calore di scarto di processi industriali *a bassa temperatura* rispetta l'analisi exergetica, se è utilizzato integralmente e non prioritariamente rispetto alle tecnologie sopra elencate.