
Termodinamica applicata

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

Prof. M. Cerani, 2017

www.energ-etica.eu

Sommario

Premessa	1
SISTEMI AD ALTA TEMPERATURA.....	1
SISTEMI A BASSA TEMPERATURA.....	2
Dati	2
ANALISI IN BASE AL 1° PRINCIPIO.....	3
ANALISI IN BASE AL 2° PRINCIPIO	3
Conclusioni.....	5

Premessa

In questa esercitazione vogliamo analizzare due tipologie di terminali di erogazione di calore, utilizzati nell'edilizia residenziale, per ricavarne l'efficienza di conversione energetica in base al primo e al secondo principio. Faremo riferimento alla normativa tecnica vigente, poi applicheremo le leggi fisiche. Tale semplice analisi consente di trarre conclusioni rilevanti.

SISTEMI AD ALTA TEMPERATURA

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

Hanno potenze specifiche trasmesse elevate; operano prevalentemente per convezione, ma anche per irraggiamento. L'aria riscaldata sopra il radiatore genera un moto della stessa che la porta a lambire le superfici sottraendo calore dalle stesse. Così facendo creano una stratificazione nell'aria dei locali, 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 .

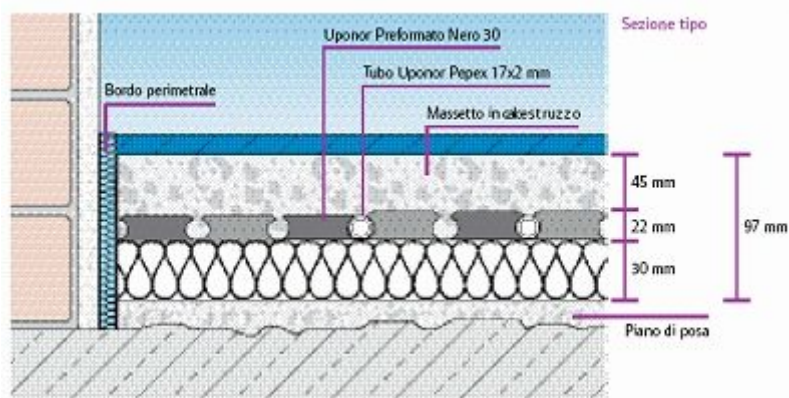
Causano nel tempo l'effetto di carbonizzazione delle particelle di polvere trascinate nei moti convettivi, che provocano i tipici aloni neri sulle pareti. Il vantaggio di questi terminali consiste nella ridotta inerzia termica: per avviare il riscaldamento bastano pochi minuti.



SISTEMI A BASSA TEMPERATURA

Si tratta di circuiti in plastica annegati nel massetto dei pavimenti, o sotto l'intonaco delle pareti, poggiandoli su supporti coibentati per evitare che il calore vada verso i locali adiacenti. Sono percorsi anch'essi da acqua, ma a bassa temperatura, ottenute da moderne caldaie, 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. Questi sistemi, che si vanno diffondendo sia in edilizia residenziale che industriale, riscaldano prevalentemente per irraggiamento, in misura minore per convezione, quindi determinando una distribuzione di temperatura più uniforme. Inoltre la radiazione riscalda le persone direttamente, quindi la sensazione di benessere si può avere anche con temperature dell'aria più basse di qualche grado. Si previene il fenomeno della stratificazione dell'aria. Per contro, si tratta di riscaldare masse superiori, quindi l'inerzia termica è maggiore: non sono idonei per riscaldare edifici usati saltuariamente.



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 teoricamente le stesse condizioni di benessere per gli occupanti. Ipotizziamo 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. Per ottenere la potenza effettiva trasferita all'ambiente infatti si deve prima tener conto di tali rendimenti.

Rendimento di regolazione: esprime il rapporto tra calore richiesto dall'ambiente con una regolazione teorica che interviene istantaneamente ed con una 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 di calore 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

Come si vede la resa di emissione è migliore per il sistema radiante, mentre la resa di regolazione è migliore per il sistema a terminali convettivi. Non consideriamo nelle nostre valutazioni il rendimento del generatore e le perdite di distribuzione per portare il calore dalla caldaia al terminale, che assumiamo eguali per i due sistemi.

ANALISI IN BASE AL 1° PRINCIPIO

La potenza trasferita all'ambiente, è determinata moltiplicando la potenza in ingresso per 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 dalla direzione 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 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 quest'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.

Il rendimento di una macchina termica 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:

$$L = \eta * Q_H$$

Il rendimento del ciclo ideale di Carnot operante tra due temperature ("H"= Temperatura della sorgente calda, "o" = Temperatura della sorgente fredda pari a quella ambiente) vale:

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

Quindi il massimo lavoro estraibile dalla quantità di calore:

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

Come già detto, l'exergia è il prodotto del calore scambiato per il "fattore di Carnot", ossia il rendimento del ciclo ideale. A questo punto ricaviamo il rendimento exergetico dello 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

Quest'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 a una temperatura prossima a quella dell'utilizzatore, si ha una maggiore efficienza, ossia una minore distruzione di exergia. L'exergia rappresenta la qualità dell'energia, o come dicono gli anglosassoni, la sua "energia disponibile" (availability) per produrre lavoro meccanico.

Si nota dalla relazione del rendimento exergetico che ha poco senso insistere con l'incrementare l'efficienza dei sistemi per produrre l'energia: è molto più rilevante per l'analisi entropica 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; ci si dovrebbe però sempre chiedere se il suo utilizzo non sia di ostacolo rispetto alla diffusione delle tecnologie basate su fonti rinnovabili sopra elencate.