

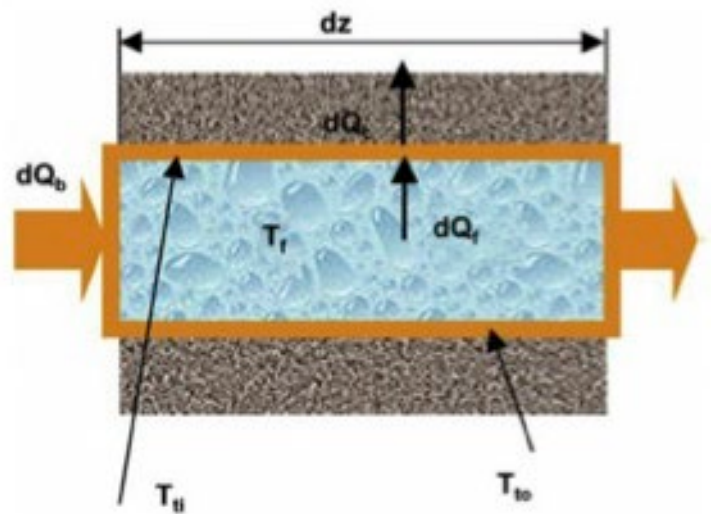
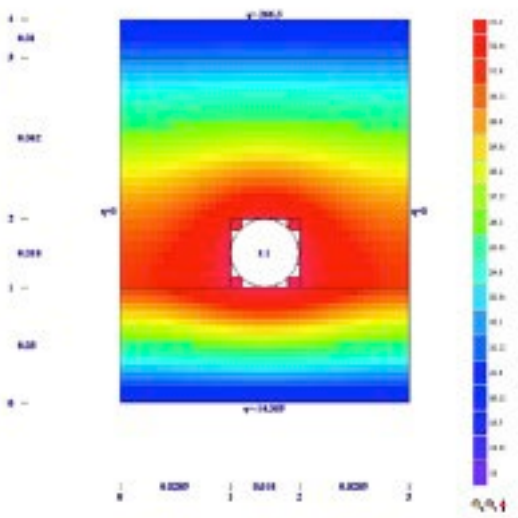
Domande e risposte sui sistemi radianti in riscaldamento e raffrescamento.

Parte 2: risparmio energetico, simulazioni e calcoli

Dicembre 2017

Ing. Clara Peretti

Libera professionista, Segretario Generale Consorzio Q-RAD



Introduzione

È stato recentemente pubblicato un articolo dal titolo "Ten questions about radiant heating and cooling systems" scritto da Kyu-Nam Rhee, Bjarne W. Olesen e Kwang Woo Kim nella rivista scientifica Building and Environment. L'articolo contiene 10 domande e risposte relative ai sistemi radianti.

Nel presente articolo vengono riportati alcuni dei contenuti dell'articolo a cura di Rhee et al., integrando alcuni aspetti per adattarli alla realtà italiana.

Nel presente articolo vengono descritti i risparmi energetici ottenibili rispetto ai sistemi ad aria, le tipologie delle simulazioni per i sistemi radianti e parametri che determinano la capacità di riscaldamento e raffrescamento dei sistemi radianti.



Qual è il principio fondamentale del risparmio energetico dei sistemi radianti rispetto ai sistemi ad aria?

Nei sistemi ad aria la climatizzazione degli ambienti avviene attraverso l'immissione di aria calda o fredda tramite canalizzazione e bocchette (di immissione e di prelievo). I sistemi a tutt'aria sono tipici degli edifici del terziario, mentre sono molto rari negli edifici residenziali. Il fluido termovettore dei sistemi radianti è solitamente l'acqua, che può trasportare circa 3500 volte più calore rispetto allo stesso volume d'aria. Pertanto, l'energia per trasportare il calore può essere significativamente ridotta rispetto ai sistemi ad aria.

Inoltre, la temperatura dell'acqua più bassa richiesta per il riscaldamento e la temperatura dell'acqua più alta richiesta per il raffrescamento possono migliorare l'efficienza dell'impianto, contribuendo a ridurre il consumo di energia primaria.

I sistemi radianti possono fornire un livello di comfort termico elevato utilizzando lo scambio di calore radiante e grandi superfici per il trasferimento di calore. Ciò consente di mantenere una temperatura dell'aria inferiore per il riscaldamento e una temperatura dell'aria più elevata per il raffrescamento, con conseguente minor consumo di energia per la ventilazione rispetto ai sistemi di aria. L'ampia superficie favorisce una ridotta differenza di temperatura per lo scambio di calore, rendendo possibile l'utilizzo di una temperatura dell'acqua più elevata per il raffrescamento e una temperatura dell'acqua più bassa per il riscaldamento.

Oltre all'effetto del risparmio energetico abbassando la temperatura dell'aria, si ottiene un ulteriore risparmio energetico nei seguenti ambiti:

- Fluido termovettore ad alta capacità termica

I sistemi radianti generalmente utilizzano l'acqua come fluido termovettore, questa ha una capacità termica molto più elevata dell'aria. Ciò può comportare una riduzione del consumo di energia per il trasporto rispetto ai sistemi di aria in cui l'aria che entra in ambiente deve essere riscaldata o raffreddata. Anche se il sistema radiante richiede energia ai fini della ventilazione, è stato dimostrato che l'energia per il trasporto per il sistema di raffrescamento radiante (elettricità per ventilatori e pompe) può essere ridotta del 25% circa rispetto al valore di elettricità per i sistemi di aria.

- Elevata inerzia termica per ridurre i picchi di carico

In un sistema radiante con elevata massa termica (come ad esempio i sistemi TABS), i pavimenti o i solai strutturali possono essere sfruttati per immagazzinare energia. L'uso di una notevole massa termica è efficace per ridurre i picchi di richiesta di energia. È stato dimostrato che la capacità di raffrescamento di un refrigeratore può essere ridotta fino al 50% per un edificio nel quale sono installati sistemi TABS. In termini di sistema di distribuzione dell'acqua, se il sistema radiante è progettato correttamente in modo che possa sfruttare la massa termica, è spesso possibile azionare il refrigeratore solo durante la notte, il che si traduce in una significativa riduzione dei picchi di energia e dei costi dell'elettricità.

- elevata efficienza nella produzione del calore

Per quanto riguarda la produzione del calore, la temperatura dell'acqua più elevata per i sistemi di raffrescamento radiante e la temperatura dell'acqua più bassa per i sistemi di riscaldamento radiante consentono a un refrigeratore, una pompa di calore, una caldaia, ecc. di operare con un'efficienza più elevata, che porta alla significativa riduzione del consumo di energia primaria.

Il raffrescamento a temperatura più elevata facilita l'uso di un più alto sistema di alimentazione dell'acqua refrigerata o di un sistema di refrigerazione a basso carico, in cui la temperatura dell'evaporatore può essere superiore a quella del refrigeratore convenzionale, riducendo il lavoro del compressore e il consumo di energia. Poiché il sistema radiante può funzionare quando la temperatura dell'acqua è prossima alla temperatura ambiente, è possibile combinare il sistema radiante con fonti di energia rinnovabile come l'energia geotermica oppure quella solare.

Quali tipi di simulazioni sono disponibili per l'analisi delle prestazioni energetiche dei sistemi radianti?

Sono stati condotti studi approfonditi sui metodi di analisi delle prestazioni energetiche dei sistemi radianti. Il meccanismo di trasferimento del calore, che è il punto di partenza dell'analisi energetica, è stato studiato utilizzando soluzioni analitiche, soluzioni numeriche come il metodo delle differenze finite o il metodo dei volumi finiti e le simulazioni energetiche. In particolare, sono state condotte varie ricerche sull'integrazione di moduli di sistema (ad esempio solai attivi, componenti idronici, caldaie, refrigeratori, ecc.) in programmi di simulazione esistenti. Pertanto, i sistemi radianti sono inseriti in tutti i principali programmi di simulazione di edifici dinamici per l'analisi delle prestazioni energetiche e dell'ambiente interno.

Quando i sistemi radianti sono abbinati a sistemi di ventilazione (per il ricambio dell'aria e la gestione del carico latente) nella simulazione deve essere tenuto in considerazione l'effetto del movimento dell'aria, della stratificazione termica e dell'uniformità termica negli spazi interni. Inoltre, la distribuzione della temperatura in una superficie radiante può influire sulla capacità termica o sul coefficiente di trasferimento del calore del sistema radiante. Una simulazione fluidodinamica (CFD) può essere applicata per studiare queste caratteristiche e migliorare l'affidabilità della valutazione delle prestazioni per il sistema radiante.

Per un'analisi più accurata e approfondita delle prestazioni energetiche, sono state condotte alcune ricerche combinando le simulazioni energetiche degli edifici con la fluidodinamica computazionale (CFD), accoppiando diversi strumenti di simulazione per l'analisi della multi-fisica nel sistema radiante e integrando metodi sperimentali e di simulazione.

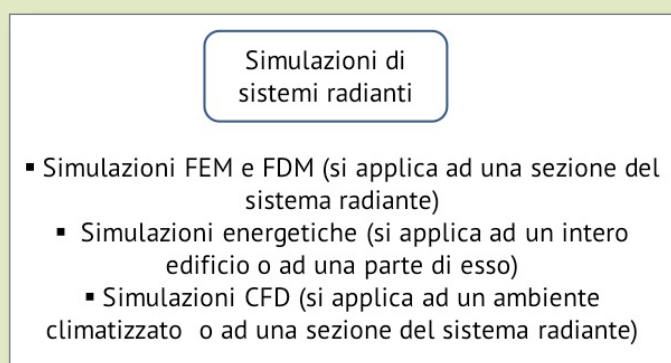


Figura 1. Principali tipologie di simulazioni

Quali sono i principali parametri che determinano la potenza in riscaldamento e/o raffrescamento dei sistemi radianti?

La potenza dei sistemi radianti è legata al trasferimento di calore di ciascun elemento del sistema. Ciò dipende dallo scambio di calore tra la superficie radiante e lo spazio occupato (coefficiente di scambio termico convettivo e radiante), dalla conduzione termica tra la superficie e le tubazioni (materiale del rivestimento, tipo di strato di supporto, tipologia del sistema di tubazioni, spessore del solaio e passo delle tubazioni) e il trasporto di calore dell'acqua (portata del flusso d'acqua e differenza di temperatura tra mandata e ritorno).

Il coefficiente di scambio termico è un parametro che determina la quantità di calore trasferito tra una superficie e lo spazio occupato. Poiché il trasferimento di calore totale è composto da scambio di calore radiante e convettivo, è necessario considerare entrambi i coefficienti (radiante e convettivo) per determinare la potenza termica del sistema radiante. In generale, il coefficiente di trasmissione del calore radiante può essere considerato di circa $5.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre il coefficiente di scambio termico convettivo può variare tra 0.3 e $6.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, a seconda della posizione e della temperatura della superficie riscaldata o raffrescata. In Tabella 1 sono riportati i coefficienti di trasferimento del calore proposti per i sistemi radianti riportati in letteratura.



Reference	Total heat transfer coefficient (W/m ² K)	Radiative heat transfer coefficient (W/m ² K)	Convective heat transfer coefficient (W/m ² K)
Feustel and Stetiu [8]	9–12	5.5	3.5–6.5
Rehva [9]	11.0 (floor heating) 7.0 (floor cooling)	–	–
CEN [18]	10.8 (floor heating) 6.5 (floor cooling)	–	–
Olesen [5]	9–11 (floor heating) 7 (floor cooling)	5.5	–
Rees and Haves [71]	–	–	5.9 (ceiling cooling + displacement ventilation)
Miriél et al. [72]	–	–	3.0 (ceiling cooling) 1.2 (ceiling heating)
Causone et al. [73]	13.2 (ceiling cooling) 5.8 (ceiling heating)	5.6	up to 4.4 (ceiling cooling) up to 0.3 (ceiling heating)
Okamoto et al. [74]	–	5.65	2.54 (ceiling cooling) 1.69 (ceiling heating)
Cholewa et al. [75]	–	5.6 (floor heating) 5.0 (floor cooling)	2.2–3.5 (floor heating) 0.1 (floor cooling)
Zhang et al. [76]	–	5.5	0.8 (ceiling heating) 2.3 (ceiling cooling)
Koca et al. [77]	8.4 (wall heating)	5.7	2.7 (wall heating)

Tabella 1. Coefficiente di scambio termico in letteratura (Fonte: Rhee et al. 2017)

Ad una data temperatura media superficiale e temperatura interna, una superficie fornirà la stessa quantità di flusso termico indipendentemente dal tipo di sistema radiante annegato. Nelle applicazioni pratiche, la potenza in riscaldamento e raffrescamento del sistema radiante si basa sulle seguenti equazioni riportate nella norma ISO 11855:

dove, t_0 è la temperatura operativa dello spazio e $t_{s,m}$ è la temperatura superficiale media. I coefficienti di scambio termico sopra elencati vengono utilizzati per stimare la potenza termica sulla base del trasferimento di calore sulla superficie radiante. Questo approccio è un modo efficace per valutare la fattibilità del sistema e viene utilizzato come base per la progettazione dettagliata e le condizioni operative. Un approccio per la stima della potenza termica è la rappresentazione mediante un sistema di resistenze termiche concentrate e una differenza di temperatura media tra l'acqua e l'ambiente, come riportato nelle seguenti equazioni:

$$q = 8.92 (t_0 - t_{s,m})^{1.1}$$

pavimento in riscaldamento e soffitto in raffrescamento

$$q = 8(|t_0 - t_{s,m}|)$$

soffitto in riscaldamento e raffrescamento

$$q = 6(|t_0 - t_{s,m}|)$$

soffitto in riscaldamento

$$q = 7(|t_0 - t_{s,m}|)$$

pavimento in raffrescamento

dove K è la resistenza termica associata ai coefficienti di scambio termico superficiale, la resistenza dello strato conduttivo, la resistenza tra tubazione e acqua, ecc. T_s , T_r e T_o sono rispettivamente la temperatura dell'acqua di mandata, la temperatura dell'acqua di ritorno e la temperatura operativa dell'ambiente. La resistenza termica K può essere determinata mediante il metodo di calcolo riportato nella norma ISO 11855, in cui vengono forniti dettagli per i diversi tipi di sistema. Oltre al metodo di calcolo, sono disponibili metodi di prova per determinare la resistenza termica K per pannelli radianti a soffitto (ASHRAE 138 o EN 14240) e per sistemi annegati (EN 1264).

$$q = K \cdot \Delta T^n$$

$$\Delta T = \frac{T_s - T_r}{\ln[(T_s - T_o)/(T_r - T_o)]}$$

Riferimenti

- Kyu-Nam Rhee, Bjarne W. Olesen, Kwang Woo Kim. 2017. 10 Questions. Ten questions about radiant heating and cooling systems. Building and Environment 112 (2017) 367 e 381
- UNI EN 1264. Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture
- UNI EN ISO 11855. Progettazione dell'ambiente costruito - Progettazione, dimensionamento, installazione e controllo dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati