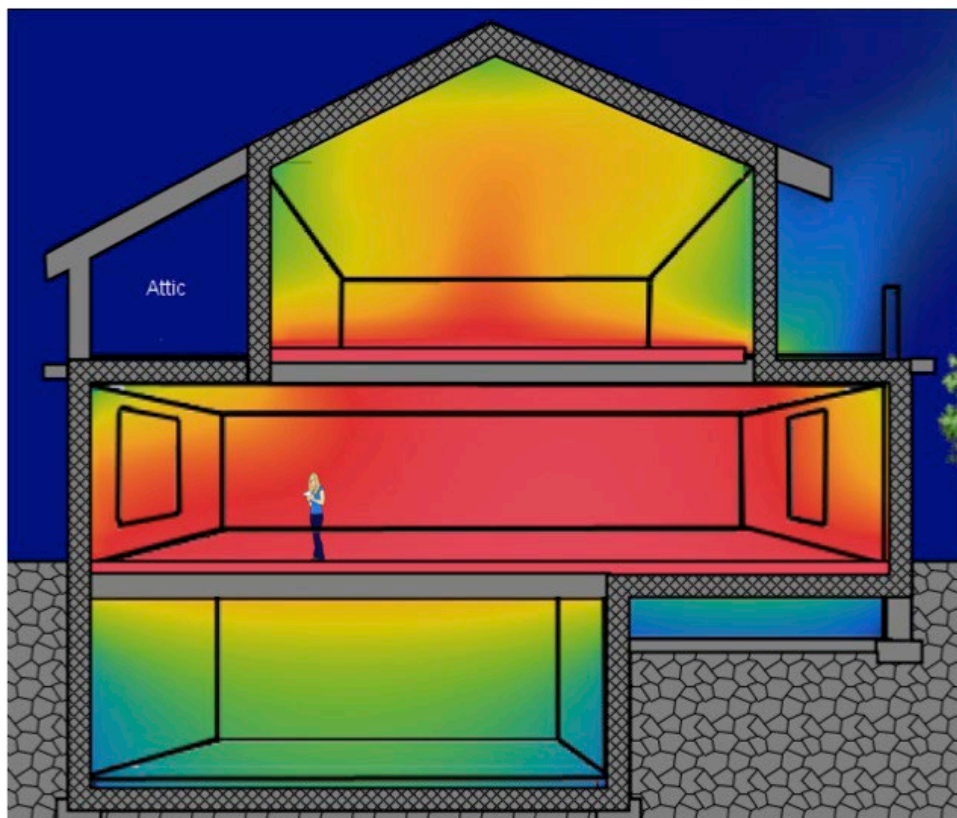


Il comfort termico nei sistemi radianti

Marzo 2017

Ing. Clara Peretti
Segretario Generale Consorzio Q-RAD



Nel riscaldamento radiante la superficie attiva (pavimento, parete o soffitto) cede calore sia alle altre superfici che all'aria ambiente, ma in virtù della maggiore temperatura della superficie attiva la temperatura media radiante risulta maggiore della temperatura dell'aria. Nel caso di raffrescamento radiante la temperatura media radiante risulta minore della temperatura dell'aria.

Inoltre le condizioni interne di temperatura sono più omogenee (a parità di temperatura operante) con un riscaldamento radiante rispetto ad un riscaldamento convettivo. Per raggiungere e garantire gli obiettivi di elevato comfort termico devono essere rispettati i vincoli suggerito dallo standard UNI EN ISO 7730 che riguardano le temperature superficiali.

I sistemi radianti

Tra i sistemi di emissione i sistemi radianti presentano notevoli potenzialità, sia per gli obiettivi di risparmio energetico richiesti dalla legislazione, sia per il raggiungimento del comfort interno. La grande varietà di soluzioni di sistemi radianti, a pavimento, parete e soffitto sono utilizzate per riscaldare e/o raffreddare molteplici tipologie di edifici come gli edifici residenziali, gli uffici, le strutture sportive, gli edifici per il culto, gli edifici storici e gli edifici industriali.

Alla luce degli elevati livelli di comfort e di qualità richiesti dagli utenti anche negli edifici residenziali non deve essere

sottovalutato il problema del raffreddamento estivo ormai ritenuto necessario soprattutto nei paesi di area mediterranea. I sistemi radianti a bassa differenza di temperatura permettono di operare, sia in fase di riscaldamento che di raffreddamento, con temperature vicine a quelle dell'ambiente da climatizzare, determinando quindi un sistema completo ed integrato che permette di raggiungere un'elevata qualità dell'ambiente interno unitamente ad un'elevata efficienza energetica.

Il comfort termico

Garantire il comfort termico degli occupanti deve essere un obiettivo primario che qualsiasi sistema HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) deve perseguire. I sistemi di riscaldamento e raffreddamento radiante possono essere utilizzati come sistemi primari o ibridi se in combinazione con sistemi ad aria e possono fornire metodi unici ed efficaci per operare con numerose condizioni che influenzano il comfort termico delle persone. I sistemi di riscaldamento e raffreddamento radiante trasferiscono direttamente il calore per condizionare uno spazio ad una temperatura specifica. Inoltre, tali sistemi radianti possono essere utilizzati per fornire direttamente calore alle persone così come agli ambienti.

Fintanto che gli occupanti sono riscaldati in maniera radiante in un sistema di riscaldamento radiante, il medesimo livello di comfort può essere ottenuto con una temperatura dell'aria inferiore rispetto ad un sistema di riscaldamento convettivo. Analogamente per i sistemi radianti in raffreddamento, la temperatura dell'aria può essere più elevata rispetto ai sistemi convettivi, a parità di livello di comfort. Pertanto, rispetto ai sistemi di riscaldamento e raffreddamento convenzionali, è possibile ridurre le perdite di energia dovuta alla ventilazione e all'infiltrazione mantenendo lo stesso livello di comfort.

Il comfort termico può essere definito come la condizione psicologica nella quale viene espressa soddisfazione per l'ambiente termico. Il comfort termico può essere valutato chiedendo a tutti gli occupanti se sono soddisfatti del loro ambiente termico. Tuttavia, al fine di progettare e regolare il riscaldamento e il raffreddamento, è necessario prevedere il comfort termico in una stanza senza ricorrere ad un risultato di una votazione.

Per creare un accettabile ambiente termico per gli occupanti, devono essere considerati i requisiti di comfort termico generale, quali il Voto Medio Previsto (PMV), la temperatura operativa, e il comfort termico locale (temperatura superficiale, differenze di temperatura verticale dell'aria, asimmetria della temperatura radiante, correnti d'aria, ecc.).

Comfort termico globale

La temperatura operativa e il PMV possono essere utilizzati come unico indice per valutare il comfort termico globale. Per il dimensionamento dei sistemi di riscaldamento radiante, la temperatura operativa può essere scelta come parametro di comfort termico globale, perché tali sistemi scambiano calore radiante tra le superfici.

Per progettare un sistema ibrido combinato con sistemi convettivi considerando i fattori legati agli occupanti come

il tasso metabolico e abbigliamento, può essere utilizzato un indice più completo come criterio generale per il comfort termico: tale indice è il PMV. Quando la temperatura operativa e il PMV sono utilizzati per la regolazione, nonché per la progettazione, è possibile non solo ottenere una migliore condizione di comfort, ma anche risparmiare energia negli edifici.

La temperatura operativa

Al fine di fornire condizioni termiche accettabili, devono essere considerati due parametri quali la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante. La combinazione di queste due temperature fornisce la temperatura operativa. Quando le velocità dell'aria sono basse ($\leq 0,2$ m/s) o la differenza tra la temperatura media radiante e la temperatura dell'aria è ridotta (≤ 4 °C), la temperatura operativa può essere approssimata con la media semplice tra la temperatura dell'aria e quella media radiante. Ciò significa che la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante hanno pari importanza per i livelli di comfort termico. Rispetto ad un sistema di riscaldamento e raffrescamento convettivo un sistema radiante può ottenere lo stesso livello di temperatura operativa con una temperatura dell'aria inferiore, e, analogamente un sistema di raffrescamento radiante con una temperatura dell'aria più elevata.

La temperatura operativa è definita come la temperatura uniforme dell'aria e delle pareti dell'ambiente che provocherebbe per il soggetto lo stesso scambio termico per convezione e radiazione che si ha nell'ambiente reale (secondo la norma ISO 7730). In senso fisico, la temperatura operativa è la temperatura che l'occupante percepisce attorno a sé, basata su convezione ed irraggiamento. La temperatura operativa si può definire come media ponderata della temperatura dell'aria e la temperatura media radiante (MRT). La media ponderata è calcolata dalla combinazione del coefficiente di trasferimento di calore convettivo e del coefficiente di trasferimento di calore radiante linearizzato.

Rapporto con il comfort termico

La temperatura dell'aria da sola non è un indicatore termico adeguato perché all'interno degli ambienti il campo radiante non è uniforme. La temperatura dell'aria non tiene conto della perdita di calore causata dallo scambio di energia radiante con le pareti, le finestre o il sistema radiante. Quando una gran parte di scambio di calore avviene con energia radiante, un miglior indice per il comfort termico globale è la temperatura operativa.

La zona di comfort può essere determinata se sono definiti i valori di umidità, di velocità dell'aria, di tasso metabolico e la resistenza termica dell'abbigliamento. La zona di comfort è definita dal livello di temperatura operativa in grado di fornire una condizione ambientale accettabile o la combinazione di temperatura media radiante e temperatura dell'aria che gli occupanti ritengono accettabile.

L'appropriato range di temperatura operativa che soddisfa le condizioni di comfort può essere diverso a seconda della resistenza termica degli indumenti degli occupanti e del loro tasso metabolico. La norma ISO 7730 indica la temperatura operativa ottimale e il campo di temperatura consentito in funzione dell'abbigliamento e delle attività per ciascuna delle tre categorie di comfort.

La norma ISO 7726 descrive i metodi e le tecniche per misurare la temperatura operativa.

Gli indici PMV (voto medio previsto) e PPD (percentuale prevista di insoddisfatti)

Se vengono considerati l'umidità e la velocità dell'aria insieme alla temperatura dell'aria, si possono prevedere criteri di comfort più precisi. Quando combinati con sistemi convettivi i sistemi di riscaldamento e raffreddamento radiante possono essere definiti ibridi.

Nei sistemi ibridi nei quali vengono combinati riscaldamento/raffreddamento e ventilazione, l'umidità e la velocità dell'aria insieme alla temperatura operativa possono essere fattori importanti per la determinazione del comfort termico.

Pertanto, al fine di valutare e controllare il comfort termico del sistema, è necessario utilizzare un indice che consideri tutti questi fattori contemporaneamente. Gli indici PMV/PPD sono quelli più comuni utilizzati per questo scopo.

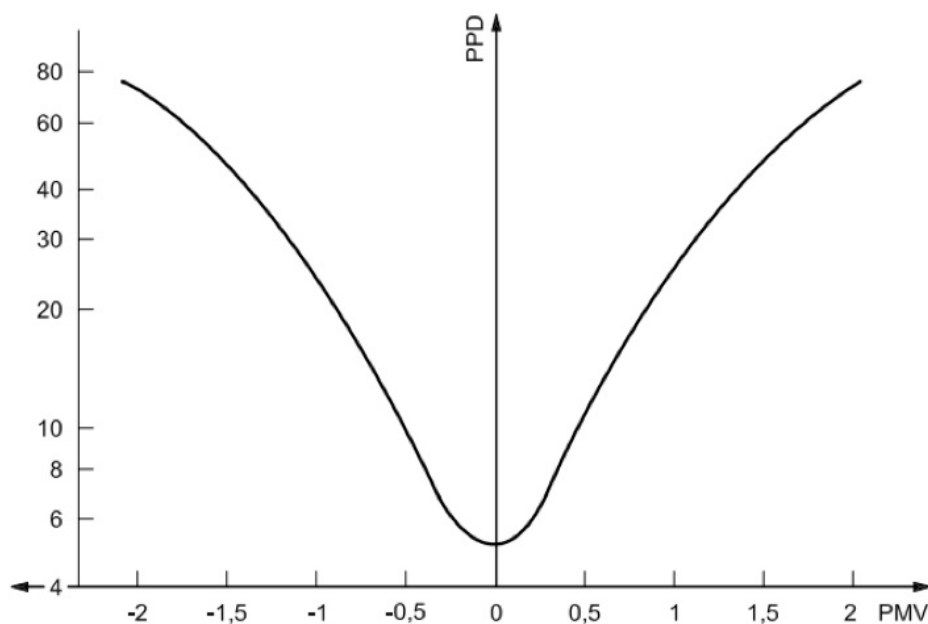


Figura 1. Relazione tra PMV e PPD (UNI EN ISO 7730)

I fattori che influenzano il PMV sono il tasso metabolico, l'isolamento dell'abbigliamento, la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante, la velocità dell'aria e l'umidità relativa. Il PPD è un indice che esprime il livello di comfort termico in percentuale e rappresenta le persone termicamente insoddisfatte, viene direttamente determinato in funzione del PMV. L'indice PPD si basa sul presupposto che le persone che votano ± 2 o ± 3 sulla scala di sensazione termica sono insoddisfatte; per semplificazione l'indice PPD risulta simmetrico intorno ad un PMV neutro (= 0). Sia PMV che PPD si basano sulla comfort termico globale (di tutto il corpo). Molto più dettagli, compresi i metodi di calcolo del PMV e del PPD, sono descritti all'interno nella norma ISO 7730.

Il PMV può essere utilizzato come indicatore per valutare il comfort termico globale degli ambienti climatizzati con sistemi di riscaldamento e raffreddamento radiante. Inoltre può essere usato come modello matematico per i dispositivi di regolazione del comfort negli edifici climatizzati con sistemi radianti. Per avere un migliore controllo del comfort rispetto ad un termostato che utilizza solo la temperatura dell'aria, si può ricorrere all'indice PMV come variabile di controllo.

Il discomfort termico locale

nella determinazione delle condizioni di comfort termico accettabile deve essere considerato il discomfort termico locale causato da una differenza di temperatura verticale dell'aria tra i piedi e la testa, dall'asimmetria radiante, da un locale raffrescamento convettivo (corrente d'aria), o per contatto con un pavimento caldo o freddo.

Limiti di temperatura superficiale

Nei sistemi di riscaldamento e raffrescamento radiante, i pavimenti, le pareti e i soffitti possono essere utilizzati come superficie di trasferimento di calore. Per questo motivo, particolare attenzione deve essere posta sul limite della temperatura superficiale per i pavimenti e le pareti nei quali gli occupanti possono entrare in contatto diretto.

Riscaldamento e raffrescamento a pavimento

La temperatura del pavimento influenza il comfort dei piedi e delle gambe. Nella norma UNI EN ISO 7730, è riportato un range di temperature del pavimento tra 19°C e 29°C, tali valori sono raccomandati per occupanti sedentari e/o in piedi con calzature normali. Questo è un fattore limitante per la capacità dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento a pavimento. Per il riscaldamento, la temperatura massima è 29°C mentre per il raffreddamento, la temperatura minima è 19°C. Tuttavia, questo intervallo di temperatura tra 19°C e 29°C può essere modificato dalla tipologia di calzature e dall'utilizzo (ad esempio se si è seduti sul pavimento). In questo modo, l'intervallo della temperatura superficiale può essere diverso a seconda delle proprie abitudini. Per questo motivo, si consiglia di seguire gli standard applicati dal proprio paese quando si deve decidere la gamma ottimale di temperatura superficiale della pavimentazione.

Range temperatura superficiale
pavimento: 19°C - 29°C



Figura 2. Range temperatura superficiale secondo UNI EN ISO 7730

L'intervallo di temperatura tra i 19°C e 29°C si basa su una media tra gli occupanti seduti e in piedi. Le persone sedute preferirebbero temperature più elevate di 1 K mentre le persone in piedi preferirebbero temperature superficiali più basse di 1 K. Con un alto tasso metabolico, risultano accettabili temperature superficiali del pavimento ancora più basse. Al di fuori della zona occupata, ovvero entro 1 metro dal pareti/finestre esterne risulta accettabile una temperatura superficiale di progetto di 35°C. Negli spazi in cui gli occupanti possono avere i piedi nudi (bagni, piscine e spogliatoi), la temperatura di comfort del pavimento dipende dal materiale del rivestimento del pavimento.

Specialmente in ambienti dove le persone hanno i piedi nudi, l'intervallo di temperatura di comfort è funzione del materiale del rivestimento.

Per i sistemi di riscaldamento elettrici, un pavimento riscaldato elettricamente può causare disagio e anche bruciare la pelle se gli occupanti entrano in contatto con il pavimento per un tempo prolungato. Ciò è dovuto alla costante fornitura di calore della sorgente elettrica di riscaldamento, a differenza dei sistemi idronici, nei quali l'aumento della temperatura superficiale è limitato dalla temperatura dell'acqua. Pertanto è importante controllare la sorgente elettrica di riscaldamento per mantenere la temperatura della superficie pavimento sotto il limite inferiore di discomfort evitando inoltre bruciature.

Riscaldamento e raffrescamento a parete

Per il riscaldamento a parete, la temperatura massima consigliata superficie rientra nell'intervallo 35°C - 50°C. La massima temperatura dipende da diversi fattori, come ad esempio se gli occupanti possono facilmente entrare in contatto con la superficie, o se gli edifici sono utilizzati per le persone più sensibili come i bambini o gli anziani. Quando la temperatura della pelle è nel range 42°C - 45°C, vi è il rischio di ustioni e dolore. Inoltre devono essere considerate le perdite di calore negli ambienti retrostanti e l'influenza sugli spazi.

Nel raffrescamento a parete, la temperatura superficiale deve essere superiore alla temperatura di rugiada per evitare la condensa e correnti fredde causate dalla superficie raffreddata.

Asimmetria della temperatura radiante

In tutti gli ambienti termici, un campo radiante ha una caratteristica asimmetrica di una certa entità. Se l'asimmetria è sufficientemente grande, allora può causare disagio. Ad esempio, il disagio può essere sentito da persone esposte all'asimmetria radiante, come ad esempio a causa dello sportello aperto di un forno, della luce diretta del sole, di soffitti riscaldati o raffreddati e dalle finestre o dalle pareti.

L'asimmetria della temperatura radiante è la differenza tra la temperatura piana radiante di due lati opposti di un piccolo elemento piano. Il metodo di calcolo dettagliato della percentuale di persone insoddisfatte a causa dell'asimmetria della temperatura radiante è descritto nella norma UNI EN ISO 7730.

Relazione con il comfort termico

Il corpo umano è più sensibile all'asimmetria radiante causata da soffitti caldi o pareti/finestre fredde. Così, per realizzare soffitti radianti riscaldati, l'asimmetria della temperatura radiante deve essere mantenuta a meno di 5°C (in relazione ad un piccolo piano orizzontale a 0,6 m dal pavimento). Per realizzare pareti/finestre raffrescanti, l'asimmetria della temperatura radiante dovrebbe essere inferiore a 10°C (in relazione ad un piccolo piano verticale 0,6 m dal pavimento).

Differenza verticale di temperatura

Una importante caratteristica del riscaldamento e raffrescamento radiante è la possibilità di ottenere condizioni di temperatura uniforme dal pavimento al soffitto. Attraverso le misurazioni è stato evidenziato che l'applicazione di riscaldamento/raffreddamento a pavimento e i sistemi di riscaldamento a parete sotto la finestra hanno un profilo di temperatura uniforme. I sistemi convettivi (battiscopa sotto finestra, sistemi ad aria calda) o i sistemi ad alte temperature provocano gradienti di 2°C - 3°C tra il pavimento e soffitto e fino a 7°C in casi estremi. Per i sistemi che trasferiscono calore maggiormente per convezione, il profilo di temperatura risulta meno uniforme.

La stratificazione termica che provoca la temperatura dell'aria calda a livello della testa rispetto alle caviglie nelle quali la temperatura dell'aria è inferiore può essere causa di discomfort termico. L'opposta stratificazione termica è rara, e risulta preferita dagli occupanti. Pertanto, non viene affrontata in questa parte della norma ISO 11855.

Sono raccomandate differenze di temperatura dell'aria dal livello della caviglia al livello di testa intorno ai 3°C.

Sistemi radianti: le temperature superficiali per la progettazione

Nella tabella di seguito sono riportati i limiti di temperatura superficiale per sistemi a pavimento, parete e soffitto in riscaldamento e in raffrescamento, come riportano negli standard UNI EN 1264 e UNI EN ISO 11855.

	Riscaldamento/ Raffrescamento	Temperatura [°C]
Pavimento: zona occupata	Riscaldamento	ϑ_{max} : 29°C (zona occupata) ϑ_{max} : 35°C (aree perimetrali ad 1 m dalla parete esterna)
	Raffrescamento	ϑ_{max} : dipende dal punto di rugiada. Valore indicativo: 19°C
Pavimento: bagni o simili	Riscaldamento	ϑ_{max} : 33°C
	Raffrescamento	(non attivi in estate)
Pareti	Riscaldamento	35 °C
	Raffrescamento	22 °C
Soffitto	Riscaldamento	32 °C
	Raffrescamento	19 °C

Tabella 1. Limiti e valori indicativi di temperature superficiali per sistemi a pavimento, parete e soffitto.

Riferimenti

- UNI EN ISO 11855: 2015. Progettazione dell'ambiente costruito - Progettazione, dimensionamento, installazione e controllo dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati
- UNI EN 1264:2009. Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture
- UNI EN ISO 7730: 2006. Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale