

# Focus Raffrescamento

*PANNELLI RADIANTI A PAVIMENTO*

**Ed. 2016**

Un Marchio del Network

**Chorus**<sup>TM</sup> 



*Via Campagna di Sopra, 20b  
25017 Lonato del Garda (BS)*

*Tel. +39.045.319.9011  
Fax: +39.045.640.2376  
[info@seppelfricke.it](mailto:info@seppelfricke.it)*

**Edizione 2016**

Rev. 00 Giugno 2013  
Realizzato da Ufficio Normazione Seppelfricke SD®  
Collaborazione dell'ing. Enelio Pancaldi (ENEA)  
Finito di scrivere nel Giugno 2013.  
Prima stampa in Luglio 2013.

**Il presente documento composto da 16 Pagine è di esclusiva proprietà di Brasstech srl. È assolutamente fatto divieto a chiunque di modificare, pubblicare o trasmettere il suddetto materiale e di sfruttare i relativi contenuti, per intero o parzialmente, senza il preventivo e necessario consenso scritto. Brasstech si riserva qualsiasi azione giudiziaria a tutela del diritto d'autore sulle proprie opere intellettuali in caso di violazione degli accordi e delle concessioni di utilizzazione.**

**Questo documento non implica alcuna responsabilità o garanzia relative alle prestazioni del prodotto. E' responsabilità del Cliente determinare se i prodotti Seppelfricke SD® sono idonei alle applicazioni desiderate.**



## INTRODUZIONE

Gli impianti a pannelli radianti, se ben progettati, realizzati e regolati, sono in grado di offrire un ottimo livello di comfort. Ciononostante questi sistemi non sempre hanno avuto la diffusione che ci si poteva attendere, anche a causa di impianti non eseguiti a regola d'arte in passato e che hanno influito, in negativo, sulla loro popolarità.

Oggi ci si può avvalere di materiali, componenti ed accessori migliori che rendono sicura e nel contempo rapida la posa ed anche il bilanciamento può essere più accurato a beneficio del comfort di tutti gli utenti, senza ambienti troppo caldi o, al contrario, sottoriscaldati.

Il raffrescamento a pavimento a pannelli radianti può essere definito come sistema di climatizzazione caratterizzato da un profilo ideale di temperature. Questo profilo di temperature, soggetto a minime variazioni sull'intera geometria degli spazi e sulle altezze, è dovuto alla distribuzione uniforme della potenza termica con basse temperature superficiali abbinato ad una corretta deumidificazione dei locali.

In stretta correlazione con l'uniforme assorbimento termico nell'intera area si ottiene un benessere ottimale che, con il sistema di raffrescamento a pavimento a pannelli radianti, si consolida già a temperature ambiente di 2°C superiori rispetto a quelle di un'area con impianto convenzionale.

**Si dispone in tal modo di un miglior comfort con temperatura ambiente superiore ed inoltre si consegue un maggiore risparmio energetico.**

Al fine di stabilire quali sono le misure delle condizioni di comfort, di seguito si sono richiamate delle utili nozioni relative al benessere termico, ai parametri principali che influenzano lo stesso ed agli scambi di calore che hanno luogo tra corpo umano ed ambiente che lo circondano.



<b>RAFFRESCAMENTO A PANNELLI RADIANTI A PAVIMENTO</b>	<b>PAGINA</b>
TEMPERATURA DEL PAVIMENTO	5
VALUTAZIONE DELLA RESA TERMICA IN RAFFRESCAMENTO	6
VERIFICA DEL PROBLEMA DELLA CONDENSAZIONE	11



## TEMPERATURA DEL PAVIMENTO

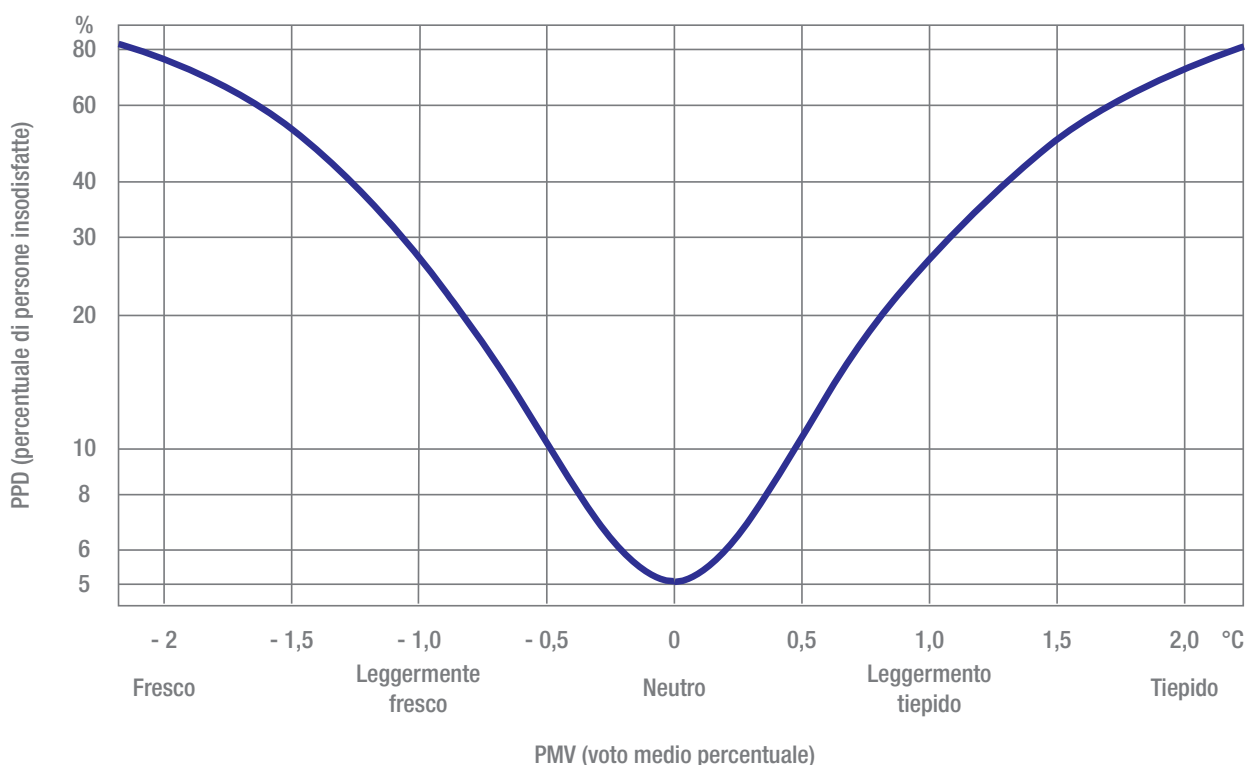
La temperatura del pavimento ha una doppia influenza sulla sensazione di comfort: da una parte è determinante ai fini del valore della temperatura media radiante, dall'altra può causare disagio locale ai piedi.

In questa trattazione escludiamo la discussione dei limiti di comfort per persone scalze, caso peraltro non previsto sia dalla norma UNI EN ISO 7730 che dalla ASHRAE 55-92, anche se la loro discussione sarebbe importante per la progettazione di ambienti quali piscine coperte, palestre e spogliatoi.

Per le persone con calzature normali, l'analisi dei diagrammi PPD (percentuale di persone insoddisfatte) in funzione della temperatura del pavimento ( $T_p$ ) fornisce, come primo risultato, che il discomfort non è influenzato dal tipo di materiale costituente la pavimentazione, ma solo dal tipo di scarpe e calze indossate e che al valore minimo della PPD, pari al 5%, corrispondente una temperatura ottimale del pavimento di 24°C.

Per quanto riguarda, invece, la normativa, l'ASHRAE 55-92 prevede un intervallo di temperatura del pavimento compreso tra 18 e 29°C, mentre l'UNI EN ISO 7730 prevede che la temperatura del pavimento possa variare tra 19 e 26°C, ma che comunque il progetto per un sistema di riscaldamento a pavimento possa far riferimento ad una temperatura di 29°C, valore peraltro riproposto dalla UNI EN 1264-2.

Dal confronto con i diagrammi PPD- $T_p$  si può dedurre che in entrambe le norme si è assunto come criterio limite un valore della PPD del 10%.





## VALUTAZIONE DELLA RESA TERMICA IN RAFFRESCAMENTO

### METODO DI CALCOLO

Il metodo di calcolo utilizzato si basa sul calcolo della trasmittanza equivalente di un pannello radiante a pavimento attraverso un fattore di forma generalizzato, che tiene conto degli aspetti bidimensionali della conduzione termica nei pannelli radianti, la cui espressione analitica è stata ottenuta mediante regressione lineare di un ampio campione di dati di rese termiche di pannelli radianti generato con l'analisi agli elementi finiti.

Per determinare la Potenza Termica si devono utilizzare le formule:

$$q_B = q_A K_B/K_A \quad q_A = Keq (t_w - t_a)$$

dove:

$q_A$  = potenza termica verso l'alto ( $W/m^2$ );

$q_B$  = potenza termica verso il basso ( $W/m^2$ );

$K_A$  = trasmittanza termica verso l'alto calcolata a partire dal piano contenente l'asse dei tubi ( $W/m^2/^\circ K$ );

$K_B$  = trasmittanza termica verso il basso calcolata a partire dal piano contenente l'asse dei tubi ( $W/m^2/^\circ K$ );

$Keq$  = trasmittanza equivalente ( $W/m^2/^\circ K$ );

$t_w$  = temperatura media del fluido termovettore ( $^\circ C$ );

$t_a$  = temperatura dell'aria ambiente ( $^\circ C$ ).

Analiticamente valgono le seguenti espressioni:

$$Keq = 1/(P/2\pi r_e \alpha_{w,eq}) + 1/C_{eq} + 1/\alpha_{a,eq} \quad f = 2\pi/(\ln(P \sinh(2\pi h/P)) (a P/h + b))$$

$$C_{eq} = f k_c/P \quad \alpha_{w,eq} = 1/(r_e \ln(r_e/r_i)/k_t + r_e/(r_i \alpha_w)) \quad \alpha_{a,eq} = 1/(1/\alpha_a + s_p/k_p)$$

dove:

$P$  = passo dei tubi (m);

$r_e$  = raggio esterno del tubo (m);

$\alpha_{w,eq}$  = coefficiente di convezione equivalente lato acqua ( $W/m^2/^\circ K$ );

$C_{eq}$  = conduttanza unitaria equivalente del massetto in calcestruzzo ( $W/m^2/^\circ K$ );

$\alpha_{a,eq}$  = coefficiente di convezione equivalente lato aria ( $W/m^2/^\circ K$ );

$f$  = fattore di forma;

$k_c$  = conducibilità termica del materiale del massetto ( $W/m/^\circ K$ );

$\ln$  = logaritmo naturale;

$\sinh$  = seno iperbolico;

$h$  = distanza tra l'asse del tubo e la superficie del massetto (m);

$a = 0,10 K_B/K_A + 0,085$ ;

$b = 0,32 K_B/K_A + 0,089$ ;

$r_i$  = raggio interno del tubo (m);

$k_t$  = conducibilità termica del materiale della tubazione ( $W/m/^\circ K$ );

$\alpha_w$  = coefficiente di convezione lato acqua ( $W/m^2/^\circ K$ );

$\alpha_a$  = coefficiente liminare lato pavimento ( $W/m^2/^\circ K$ );

$s_p$  = spessore del rivestimento del pavimento (m);

$k_p$  = conducibilità termica del materiale del rivestimento ( $W/m/^\circ K$ ).



## DIAGRAMMI DI RESA TERMICA

Il metodo di calcolo indicato è stato utilizzato per ricavare le rese termiche dei sistemi radianti a pavimento **FBSD** e **KBSD** di Seppelfricke SD®.

L'analisi è stata parametrizzata secondo i valori delle grandezze fisiche e geometriche riportate in tabella:

Temperatura ambiente	$T_a$ (°C)	26 - 28	
Temperatura del pavimento	$T_p$ (°C)	18 - 20 - 22 - 24	
Sistema Seppelfricke SD®		<b>FBSD</b>	<b>KBSD</b>
Diametro della tubazione PEX-c	$D_e/D_i$ (mm)	17/13	10,5/8
Passo della tubazione	P (cm)	7,5 - 15 - 22,5 - 30	9 - 15 - 21 - 30

I grafici alle pagg. 8 e 9 forniscono la resa frigorifera del pannello ( $Q_a$ ) in funzione della differenza tra temperatura dell'aria ambiente ( $T_a$ ) e temperatura media dell'acqua dell'impianto ( $T_w$ ).

L'analisi dei risultati mette in evidenza la reale possibilità di un efficace contributo del pannello radiante a pavimento alla climatizzazione estiva degli ambienti, in termini ovviamente della sola riduzione del carico sensibile.

Se, ad esempio, facciamo riferimento ad un edificio costruito con i requisiti di isolamento termico richiesti dalla Legge 10/90 e con un efficace controllo della radiazione solare attraverso i serramenti, si può ridurre il carico termico sensibile a valori inferiori ai 20 W/m<sup>3</sup>, corrispondenti, per un'altezza usuale dei locali di 2,8 m, a 56 W/m<sup>2</sup> di pavimento: dai diagrammi di resa si rileva che, per le temperature interne di riferimento di 26 e 28°C, il carico termico è annullato con una temperatura del pavimento rispettivamente di 18 e 20°C, nel rispetto dei limiti imposti dalla normativa tecnica citata.

### Resa in raffrescamento sistema **FBSD**

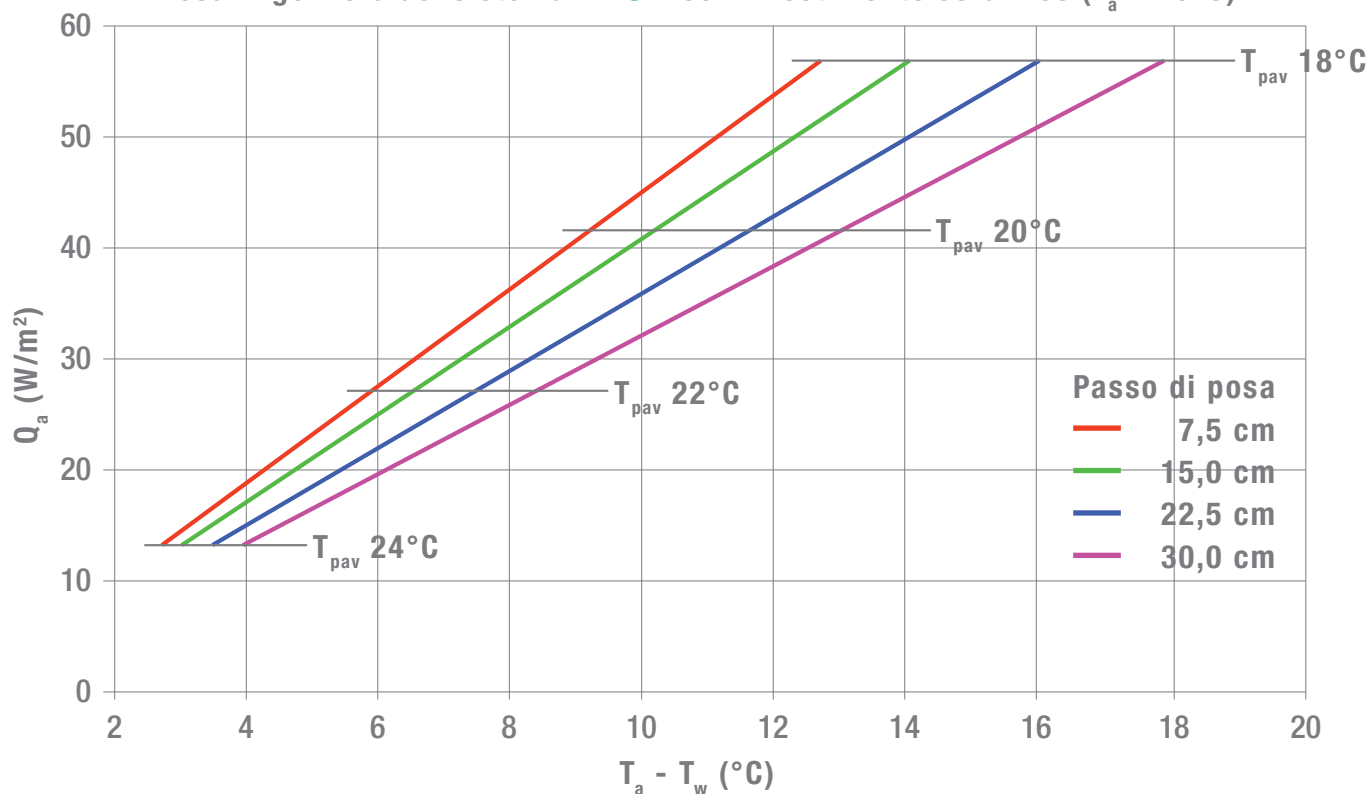
Passo di posa	7,5 cm		15,0 cm	
$\Delta T$ (K)	11	7	11	7
Potenza (W/m <sup>2</sup> ) senza pavimento	47,38	30,15	39,50	25,14
Potenza (W/m <sup>2</sup> ) con ceramica	28,62	18,21	25,26	16,07

### Resa in raffrescamento sistemi **KBSD**

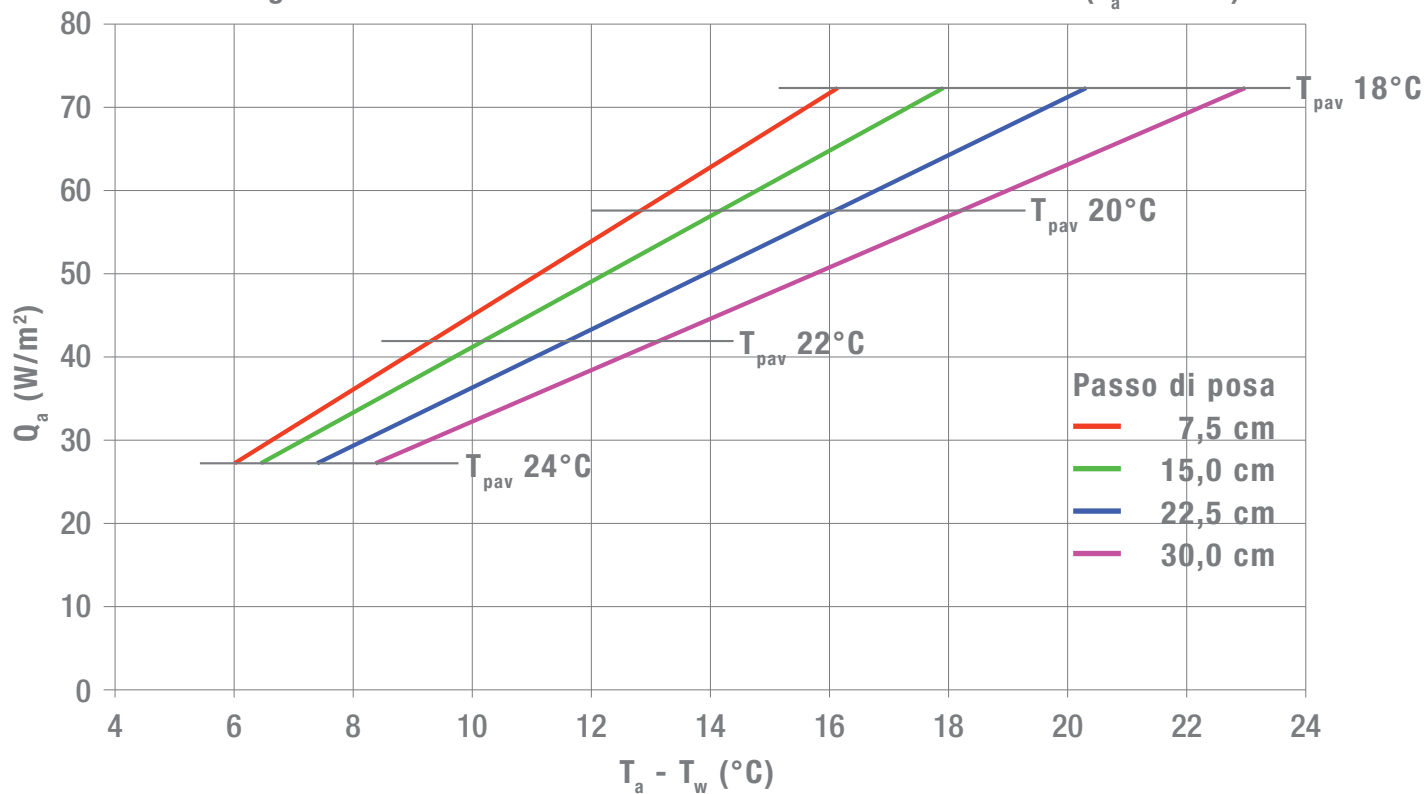
Passo di posa	6,0 cm		9,0 cm		12,0 cm		15,0 cm	
$\Delta T$ (K)	11	7	11	7	11	7	11	7
Potenza (W/m <sup>2</sup> ) senza pavimento	50,68	32,25	46,76	29,76	42,86	27,27	39,16	24,92
Potenza (W/m <sup>2</sup> ) con ceramica	29,80	18,96	28,26	17,98	26,64	16,95	25,01	15,91



Resa frigorifera del sistema **FBSD** con rivestimento ceramico ( $T_a = 26^\circ\text{C}$ )



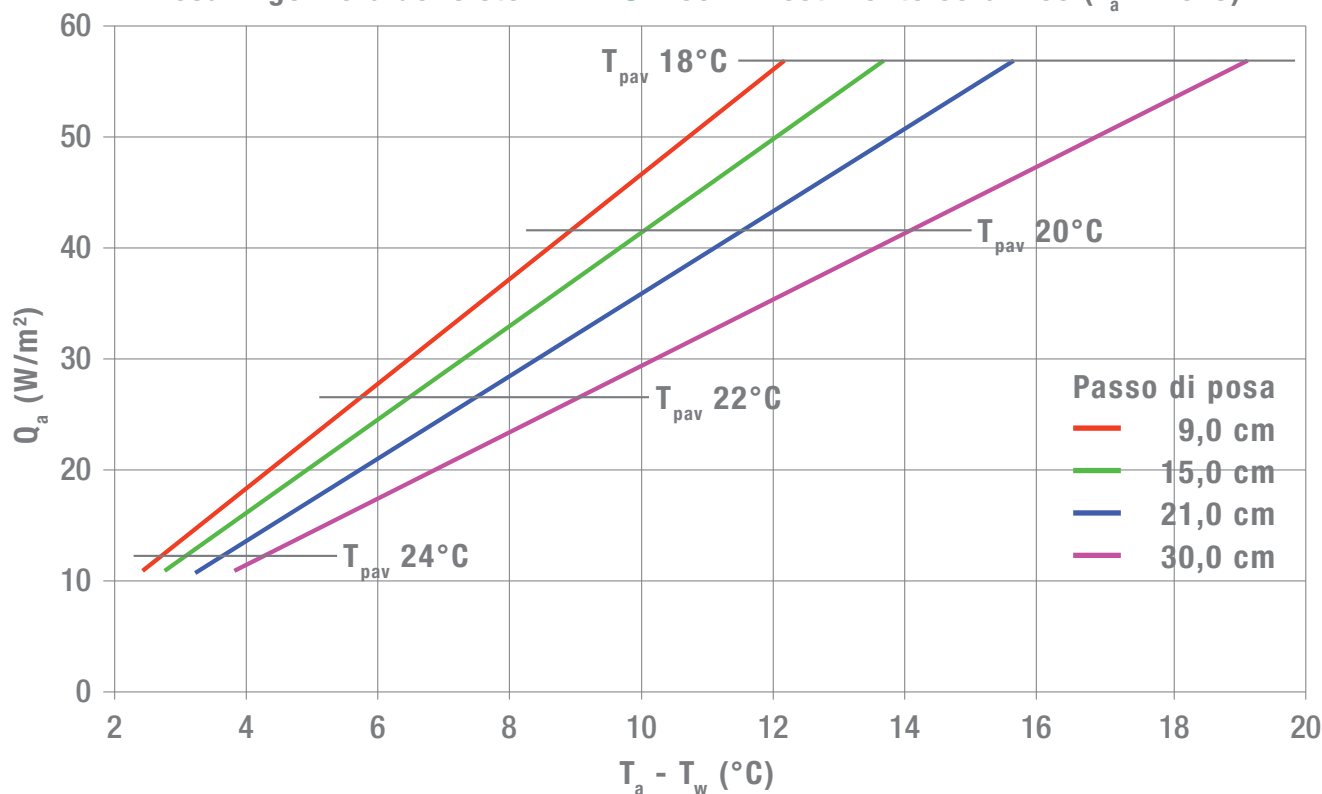
Resa frigorifera del sistema **FBSD** con rivestimento ceramico ( $T_a = 28^\circ\text{C}$ )



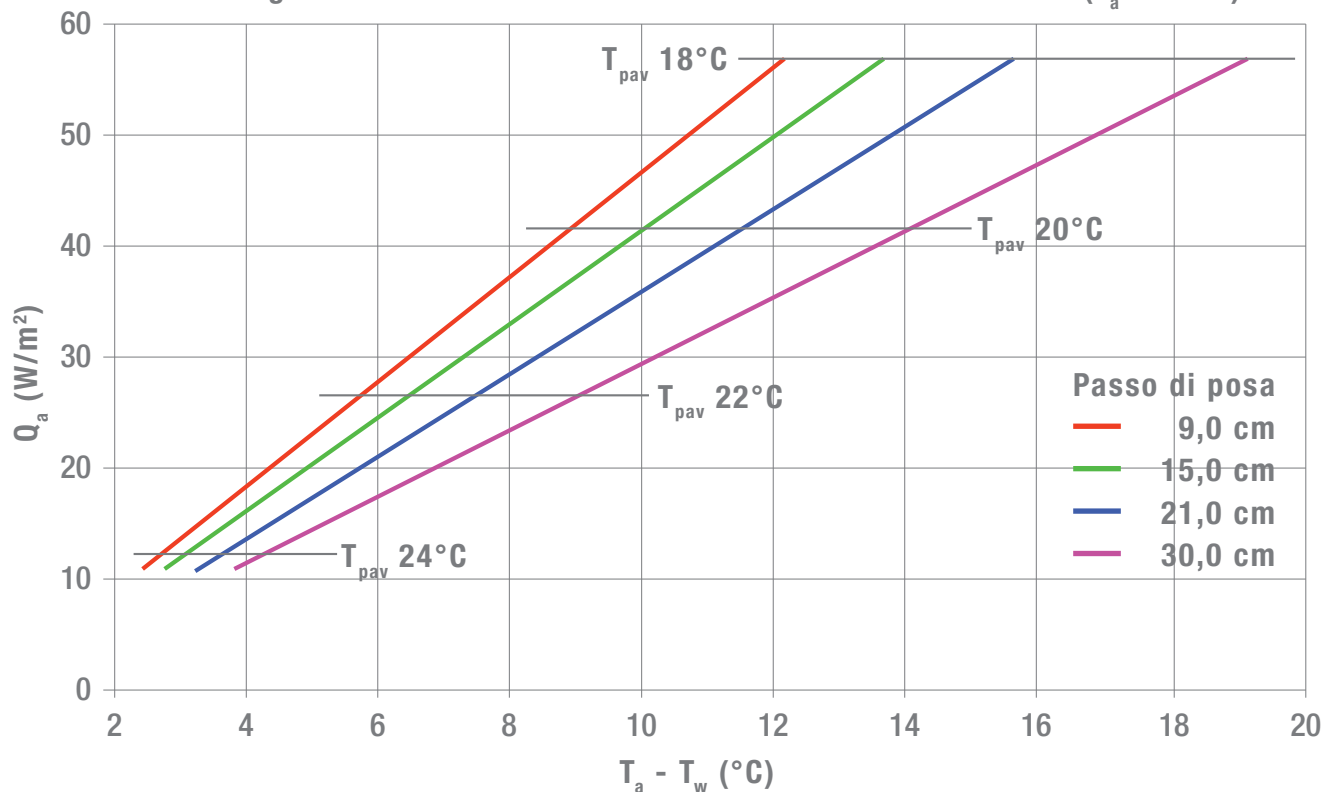




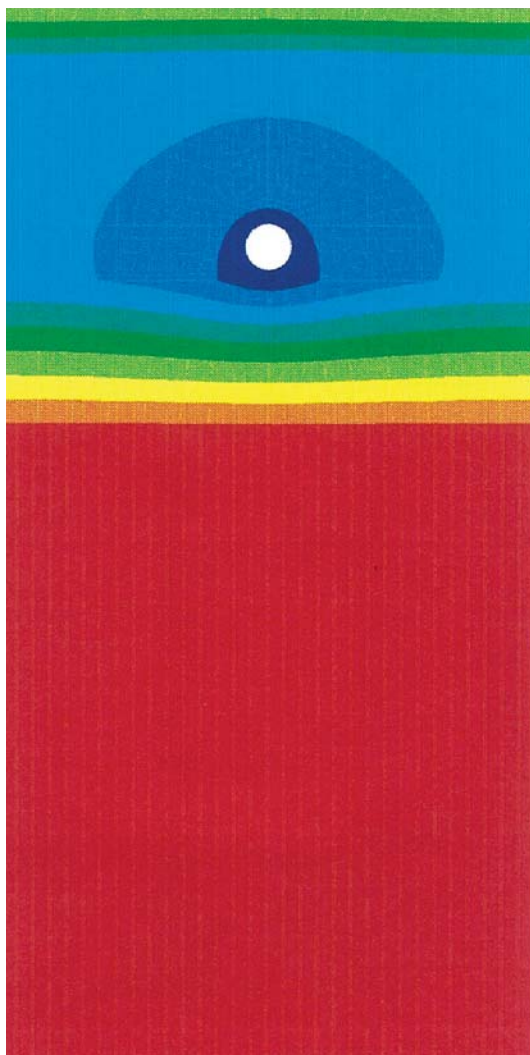
Resa frigorifera dei sistemi **KBSD** con rivestimento ceramico ( $T_a = 26^\circ\text{C}$ )



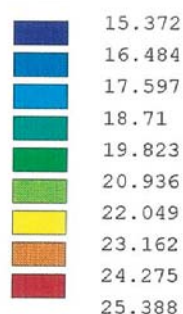
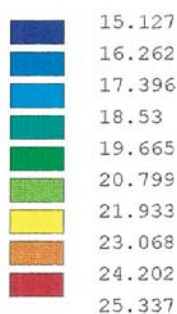
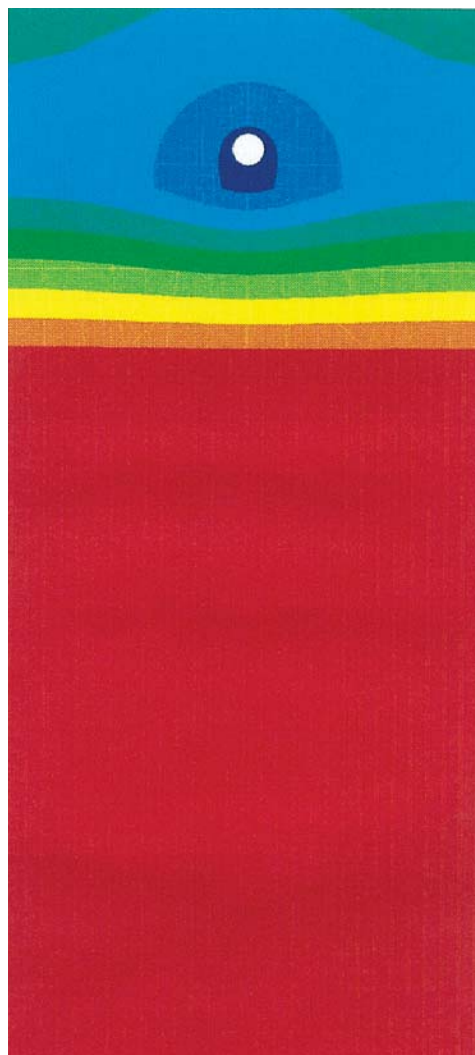
Resa frigorifera dei sistemi **KBSD** con rivestimento ceramico ( $T_a = 28^\circ\text{C}$ )



### Termografia sistema **FBSD**



### Termografia sistemi **KBSD**



Le termografie qui presentate sono state estratte dalle relazioni “Prüfbericht 98DK001” e “Prüfbericht 98DK002” commissionate da Seppelfricke SD® al Dott. Ing. H. Klan del Dipartimento di Ingegneria Chimica dell’Università di Tecnologia di Darmstadt.

Si tratta del primo studio a livello mondiale per la determinazione scientifica delle rese termiche in raffreddamento di sistemi a pannelli radianti a pavimento.



## VERIFICA DEL PROBLEMA DELLA CONDENSAZIONE

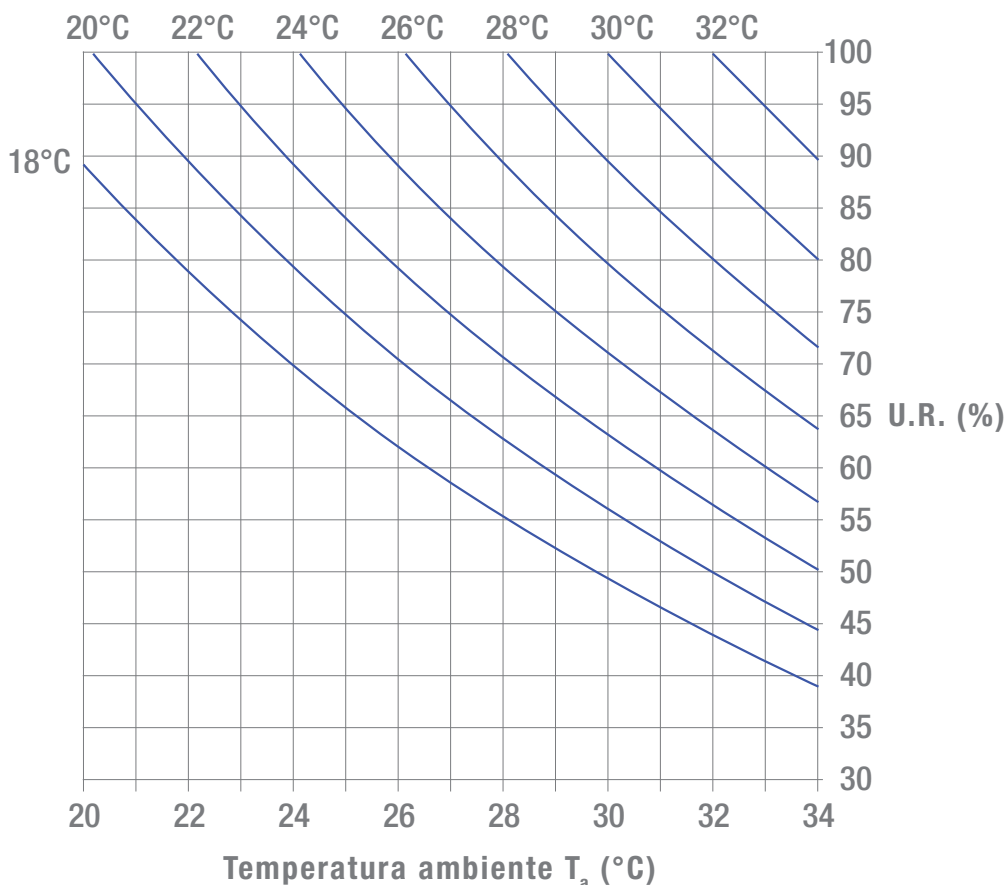
### TEMPERATURA DI RUGIADA

Una miscela di aria e vapore non saturo, sottoposta a raffreddamento senza deumidificazione, diminuisce di temperatura ed aumenta il suo valore di umidità relativa sino a raggiungere la condizione di saturazione, caratterizzata da una umidità residua dell'ambiente (U.R.) del 100% e da una temperatura detta di rugiada, oltre la quale ogni ulteriore raffreddamento comporta la formazione di condensa.

E' per questa ragione che ogni superficie che si trovi a una temperatura inferiore a quella di rugiada risulta bagnata.

Nel caso dei pannelli radianti a pavimento, utilizzati per il raffrescamento estivo, è proprio la superficie del pavimento che può trovarsi ad una temperatura inferiore a quella di rugiada dell'aria umida ambiente.

Se si rappresenta, come nel grafico sotto, l'andamento della temperatura di rugiada in funzione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria ambiente, si ha un primo strumento, sia qualitativo che quantitativo, per la valutazione del limite inferiore della temperatura del pavimento, che nel nostro caso viene a coincidere proprio con la temperatura di rugiada stessa.





Analiticamente valgono le seguenti espressioni:

$$P_s = 613,5 + 42,58 T_a + 1,702 T_a^2 + 0,01193 T_a^3 + 0,0006176 T_a^4$$

$$P_v = P_s \text{ U.R.}/100$$

$$T_r = - 35,957 - 1,8726 \ln(P_v) + 1,1689 (\ln(P_v))^2$$

dove:

$P_s$  = pressione di saturazione del vapor d'acqua (Pa);

$T_a$  = temperatura ambiente (°C);

$P_v$  = pressione parziale del vapor d'acqua (Pa);

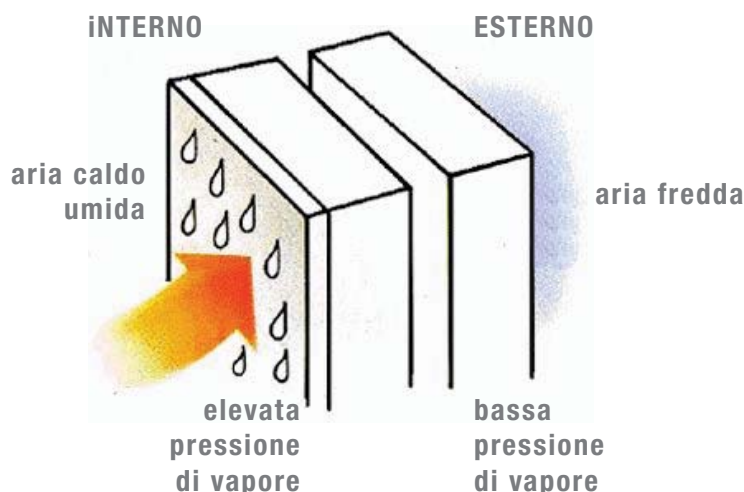
U.R. = umidità relativa ambiente (%);

$T_r$  = temperatura di rugiada (°C).

**Nota:** la polinomiale è stata ricavata per interpolazione dei valori tabulati di  $P_s$  con  $T_a > 0$ .

## VALUTAZIONE DELLA PRODUZIONE DI VAPORE ALL'INTERNO DEGLI EDIFICI

Negli edifici occupati da persone la produzione di vapore è continua, dovuta principalmente alle persone stesse (respirazione, sudorazione), oltre che alla preparazione dei cibi, all'utilizzo degli apparecchi idrosanitari e all'asciugatura degli indumenti. Solo una piccola parte del vapore prodotto raggiunge l'esterno per diffusione attraverso le pareti, causa la differenza tra le pressioni parziali interna ed esterna, mentre la maggior parte viene evacuato con il ricambio dell'aria, sia naturale attraverso i serramenti che forzato attraverso estrattori meccanici.



Analiticamente valgono le seguenti espressioni:

$$P_{se} = 613,5 + 42,58 T_e + 1,702 T_e^2 + 0,01193 T_e^3 + 0,0006176 T_e^4$$

$$P_{ve} = P_{se} \cdot U.R._e / 100$$

$$P_{va} = e^{0,801 + \sqrt{(31,4026 + T_p/1,1689)}}$$

$$U.R._a = 100 P_{va} / P_{sa}$$

$$\Delta X_r = 1,2 V r (X_e - X_a)$$

dove:

$P_{se}$  = pressione di saturazione vapor d'acqua alla temperatura esterna (Pa);

$T_e$  = temperatura esterna (°C);

$P_{ve}$  = pressione parziale del vapor d'acqua all'umidità relativa esterna (Pa);

$U.R._e$  = umidità relativa esterna (%);

$P_{va}$  = pressione parziale vapor d'acqua ambiente interno corrispondente a  $T_r$  pari a quella del pavimento (Pa);

$T_a$  = temperatura interna (°C);

$U.R._a$  = umidità relativa ambiente massima ammissibile (%);

$\Delta X_r$  = apporti di vapore per ricambio dell'aria (g/h);

$V$  = volume del locale (m<sup>3</sup>);

$r$  = ricambio orario in volumi/ora (gr/h)

$X_e$  = umidità specifica dell'aria esterna (g/kg);

$X_a$  = umidità specifica dell'aria interna (g/kg);

1,2 = densità dell'aria (kg/m<sup>3</sup>);

$X_e = 621,98 \cdot P_{ve} / (101325 - P_{ve})$ ;

$X_a = 621,98 \cdot P_{va} / (101325 - P_{va})$ .



## APPORTO DI VAPORE

Se si considera che per i locali cucina e bagno non viene quasi mai richiesto il condizionamento estivo e che gli apporti di vapore per diffusione sono per lo più trascurabili, la produzione totale di vapore si riduce ai soli contributi dovuti alla ventilazione e all'affollamento dei locali.

Analiticamente valgono le seguenti espressioni:

$$\Delta X_d = 3.600.000 P_e S_e (P_{ve} - P_{va})$$

$$\Delta X_p = n X_p$$

$$\Delta X_{tot} = \Delta X_r + \Delta X_d + \Delta X_p + \Delta X_c + \Delta X_f + \Delta X_i$$

con:

$\Delta X_d$  = apporti di vapore per diffusione attraverso le pareti esterne (g/h);

$P_e$  = permeanza unitaria media delle superfici esterne non vetrate (kg/s/m<sup>2</sup>/Pa);

$S_e$  = superficie esterna non vetrata (m<sup>2</sup>);

$n$  = numero di persone;

$\Delta X_{tot}$  = produzione totale di vapore in ambiente (g/h);

$\Delta X_p$  = apporti di vapore dovuti alle persone (g/h);

$\Delta X_c$  = apporti di vapore dovuti alla preparazione dei cibi (g/h);

$\Delta X_f$  = apporti di vapore dovuti alla combustione (g/h);

$\Delta X_i$  = apporti di vapore dovuti all'igiene (g/h).

Persona	$X_p$ (g/h/persona)
in riposo	50
in attività leggera	100
in lavoro leggero	200
in lavoro pesante o ginnastica	400

Cottura cibi	$\Delta X_c$ (g/h)
pentola Ø 20 cm in ebollizione (scoperta)	900
pentola Ø 20 cm in ebollizione (coperta)	350
valore medio	400
cibi caldi in tavola per persona	15

Fornello a gas (solo fiamma)	$\Delta X_f$ (g/h)
Ø piccolo	100
Ø medio	200
Ø grande	400

Pulizia personale e degli indumenti	$\Delta X_i$ (g/h)
doccia calda	2000
bagno caldo in vasca	300
panni stesi ad asciugare (5 kg in ambiente a 20°C e U.R. 40%)	200



## ESEMPIO DI APPLICAZIONE

Locale soggiorno	
superficie	20 m <sup>2</sup>
volume	60 m <sup>3</sup>
affollamento	4 persone in attività sedentaria
ricambi orari	0,5
temperatura esterna serale	30°C
umidità relativa esterna	85%
temperatura interna	28°C
temperatura del pavimento	20°C
umidità relativa interna massima consentita	62,4%
produzione di vapore interna	714 g/h
potenza specifica di deumidificazione richiesta	12 g/h/m <sup>3</sup>

## BIBLIOGRAFIA

- /1/ G. Alfano, M. Filippi, E. Sacchi “Impianti di climatizzazione per l’edilizia - Dal progetto al collaudo” Ed. Masson (1997);
- /2/ C. Nonino, G. Comini “Calcolo della resa termica dei pannelli radianti a pavimento” CDA Anno 32 n.9, Settembre 1988;
- /3/ ASHRAE HANDBOOK “1981 FUNDAMENTALS” Ed. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc.;
- /4/ G. Nervetti, F. Soma “La verifica termoigrometrica delle pareti” Ed. Hoepli (1982);
- /5/ Dott. Ing. H. Klan “Prüfbericht 98DK00-1/2” Technische Universität Darmstadt - Prüflaboratorium Fachgebiet Thermische Verfahrenstechnik, 2004.



Powered by Rautaki.it

Un Marchio del Network

**Chorus**<sup>TM</sup>



Via Campagna di Sopra, 20b  
25017 Lonato del Garda (BS)  
P.IVA 04413430267

Tel. +39. 045.319.9011  
Fax: +39.045.640.2376  
info@seppelfricke.it  
www.seppelfricke.it