



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



# Progetto

# nanofanicoil

## il futuro dei terminali idronici

**Gian Luca Morini**  
**Stefano Cancellara**

Dipartimento di Ingegneria Industriale  
CIRI Edilizia & Costruzioni

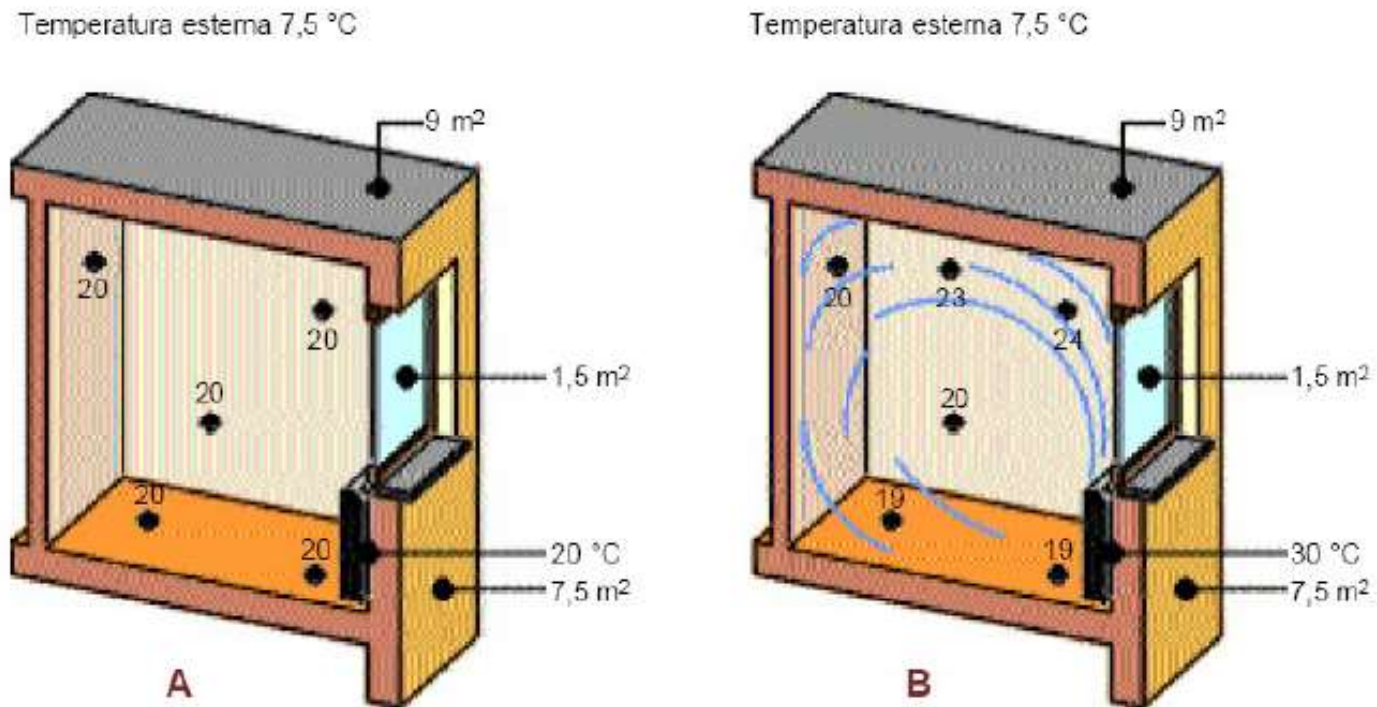
# Contenuti

- I terminali idronici per impianti di condizionamento
- Scambio termico convettivo e radiante
- Terminali radianti: pannelli radianti a pavimento, a soffitto e verticali
- Radiatori, ventilconvettori e terminali ibridi
- Ventilconvettori e pompe di calore
- Il progetto NANOFANCOIL: risultati e prospettive



# I terminali idronici

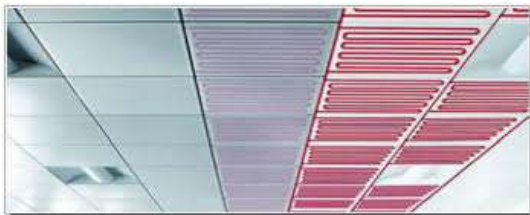
Il terminale è il principale componente del sottosistema di emissione di un impianto di condizionamento.



# I terminali idronici

I terminali possono essere classificati in base al principale meccanismo di scambio termico utilizzato per emettere calore:

- Terminali radianti
- Terminali convettivi
- Terminali ibridi



# I terminali idronici

I terminali sono scelti in base a:

- Temperatura di alimentazione (30°C-80°C/ 12°C-18°C)
- Necessità di coprire Inverno/Estate
- Spazi disponibili (geometria dei locali da condizionare)
- Tipo di attività svolta nei locali

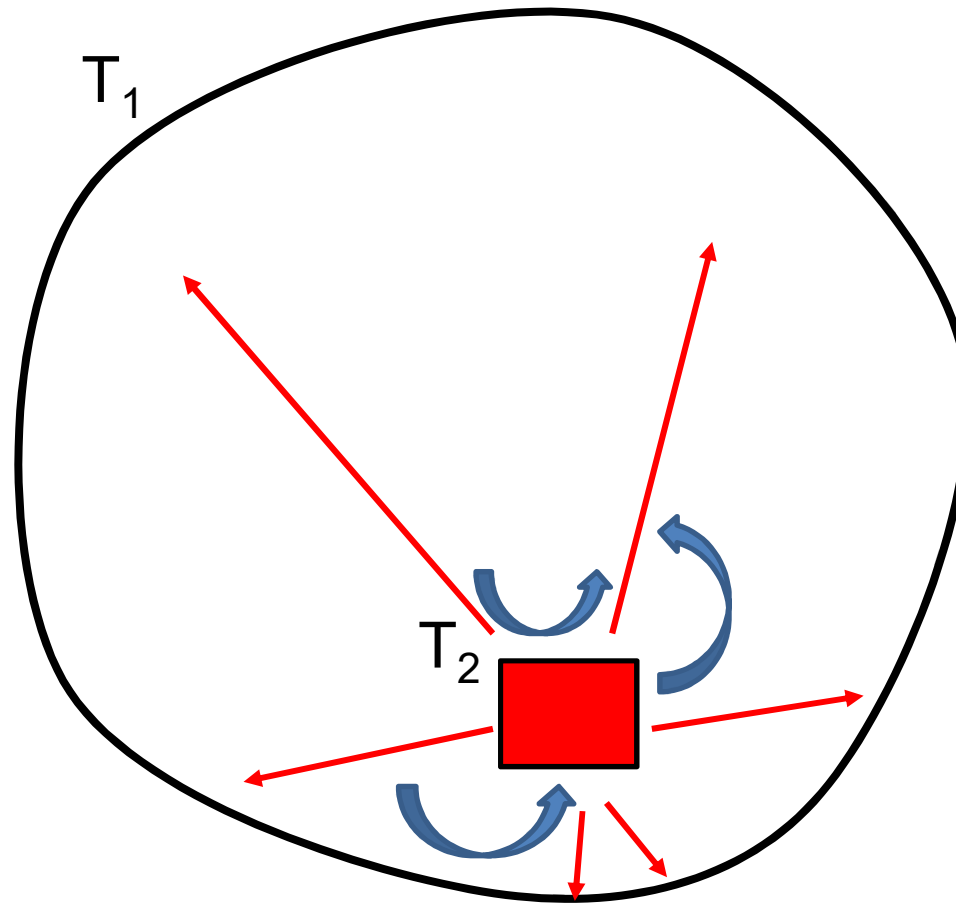
## **Vincoli ulteriori:**

- Rumorosità (qualità Acustica del locale)
- Movimento polvere (moti convettivi indotti) (IAQ)
- Controllo carico latente (deumidificazione)



# I terminali idronici

Terminali radianti o convettivi?



# I terminali idronici

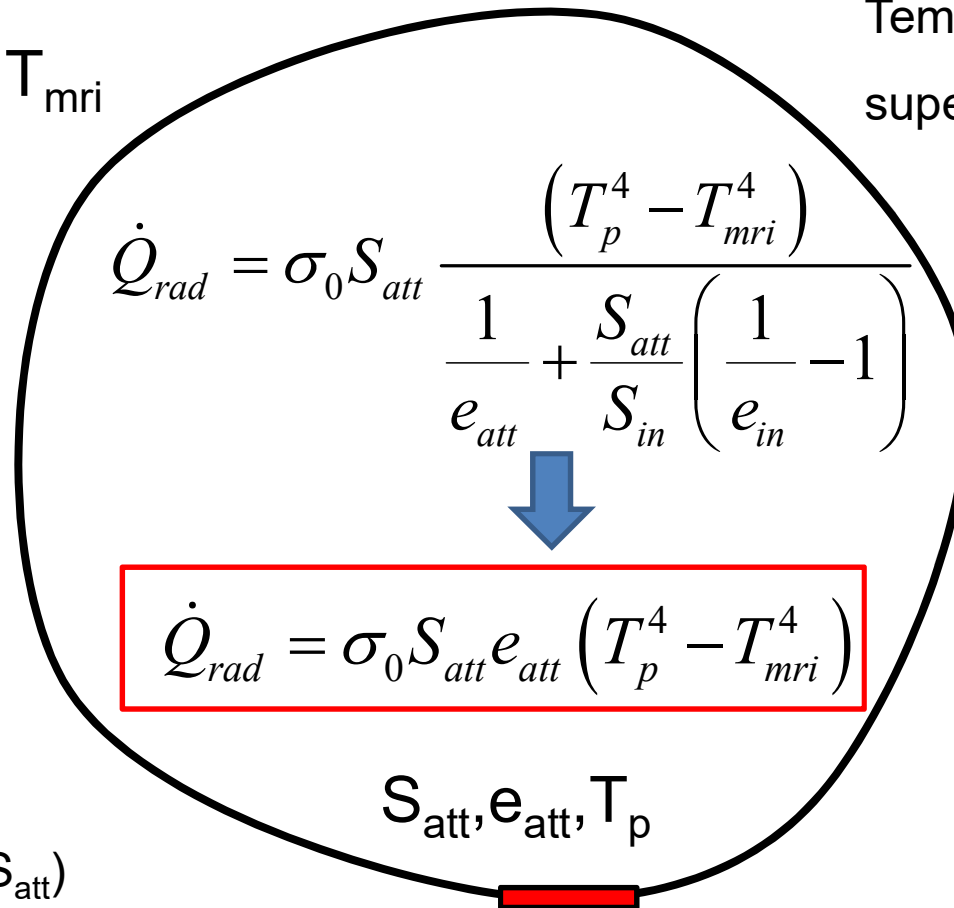
Terminali radianti o convettivi?

## METODO ASHRAE

Temperatura di pelle ( $T_p$ )

Temperatura media radiante  
superficie inattiva ( $T_{mri}$ )

$S_{in}, e_{in}, T_{mri}$



$$\frac{S_{att}}{S_{in}} \ll 1$$

Superficie attiva ( $S_{att}$ )

Superficie inattiva ( $S_{in}$ )

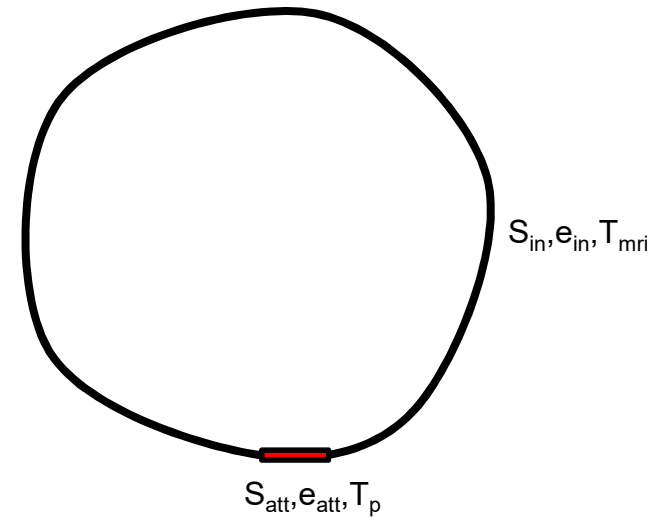


# I terminali idronici

$$\dot{Q}_{rad} = \sigma_0 S_{att} e_{att} (T_p^4 - T_{mri}^4)$$

- Emissività superficie attiva ( $e_{att}$ )
- Temperatura di pelle ( $T_p$ ): dipende dalla temperatura media dell'acqua nel terminale e dalla resistenza termica interposta tra acqua e aria
- Temperatura media radiante superficie inattiva ( $T_{mri}$ ) = temperatura media delle superfici solide presenti nel locale:

$$T_{mri} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j T_j}{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j}$$





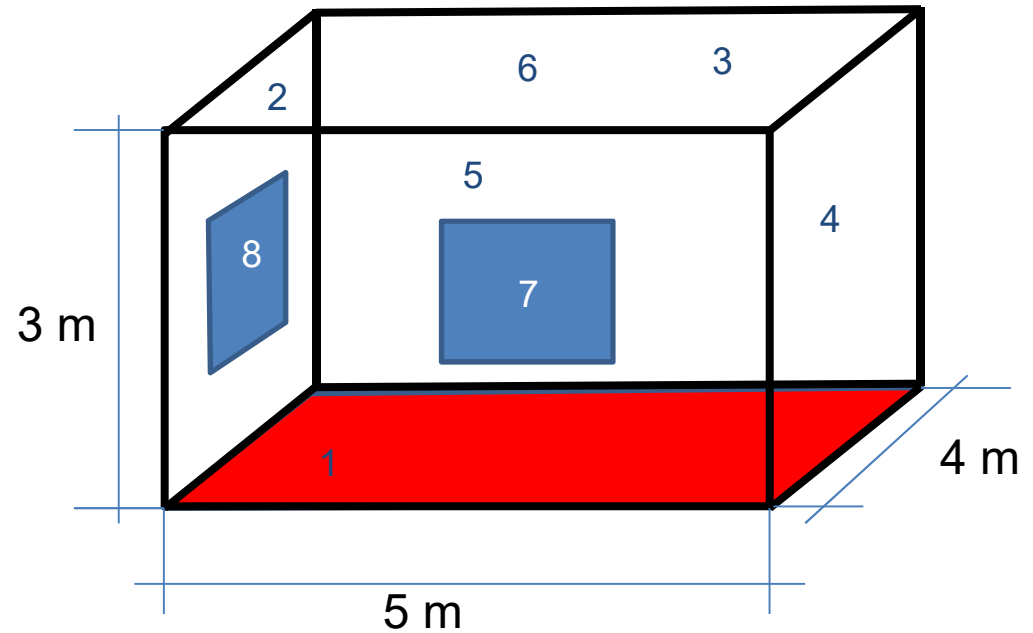
# I terminali idronici

$$q_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{S_{att}} = \sigma_0 e_{att} (T_p^4 - T_{mri}^4)$$

Valutazione valore massimo  $q_{rad}$

$e_{att}=1$ ,  $T_p=29^\circ\text{C}$

Caso 1: Pareti e finestre «fredde»



Superficie		stato	Temperatura [°C]	Area [m <sup>2</sup> ]
<b>1</b>	<b>pavimento</b>	<b>Attivo</b>	<b>29</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>Par. ext.</b>	<b>Inattivo</b>	<b>16</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	Par. int.	Inattivo	20	15
<b>4</b>	Par. int.	Inattivo	20	12
<b>5</b>	<b>Par. ext.</b>	<b>Inattivo</b>	<b>16</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	soffitto	Inattivo	20	20
<b>7</b>	<b>finestra</b>	<b>inattivo</b>	<b>14</b>	<b>2</b>
<b>8</b>	<b>finestra</b>	<b>inattivo</b>	<b>14</b>	<b>2</b>

$$T_{mri} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j T_j}{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j} = 18.4^\circ\text{C}$$

$$q_{rad, \max} = 62 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

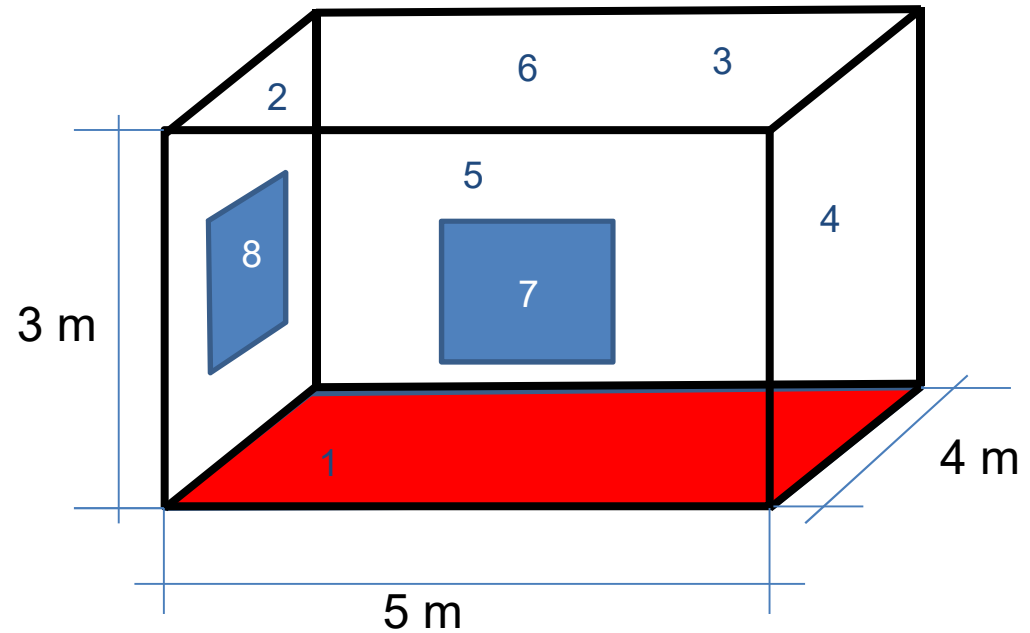
# I terminali idronici

$$q_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{S_{att}} = \sigma_0 e_{att} (T_p^4 - T_{mri}^4)$$

Valutazione valore massimo  $q_{rad}$

$e_{att}=1$ ,  $T_p=29^\circ\text{C}$

Caso 2: Pareti e finestre «calde»



Superficie		stato	Temperatura [°C]	Area [m <sup>2</sup> ]
<b>1</b>	<b>pavimento</b>	<b>Attivo</b>	<b>29</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>Par. ext.</b>	<b>Inattivo</b>	<b>18.5</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	Par. int.	Inattivo	20	15
<b>4</b>	Par. int.	Inattivo	20	12
<b>5</b>	<b>Par. ext.</b>	<b>Inattivo</b>	<b>18.5</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	soffitto	Inattivo	20	20
<b>7</b>	<b>finestra</b>	<b>inattivo</b>	<b>18</b>	<b>2</b>
<b>8</b>	<b>finestra</b>	<b>inattivo</b>	<b>18</b>	<b>2</b>

$$T_{mri} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j T_j}{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j} = 19.4^\circ\text{C}$$

$$q_{rad, \max} = 57 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

**-10%**

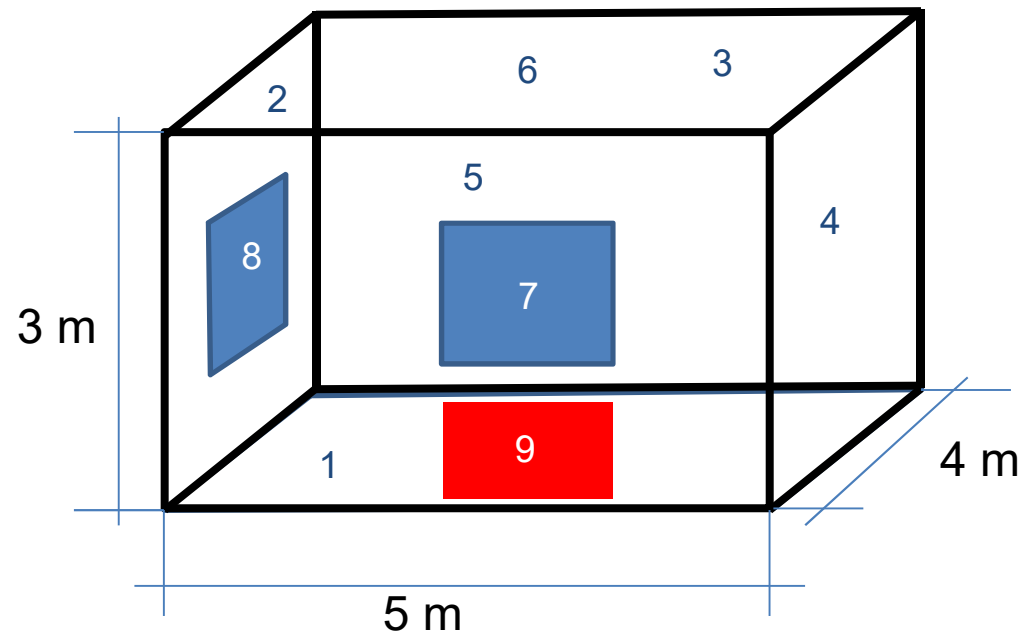
# I terminali idronici

$$q_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{S_{att}} = \sigma_0 e_{att} (T_p^4 - T_{mri}^4)$$

Valutazione valore massimo  $q_{rad}$

$e_{att}=1$ ,  $T_p=60^\circ\text{C}$

Caso 1: Pareti e finestre «fredde»



Superficie		stato	Temperatura [°C]	Area [m <sup>2</sup> ]
1	pavimento	Inattivo	20	19
2	Par. ext.	Inattivo	16	10
3	Par. int.	Inattivo	20	15
4	Par. int.	Inattivo	20	12
5	Par. ext.	Inattivo	16	13
6	soffitto	Inattivo	20	20
7	finestra	inattivo	14	2
8	finestra	inattivo	14	2
9	radiatore	attivo	60	1

$$T_{mri} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j T_j}{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j} = 18.8^\circ\text{C}$$

$$q_{rad,max} = 287 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

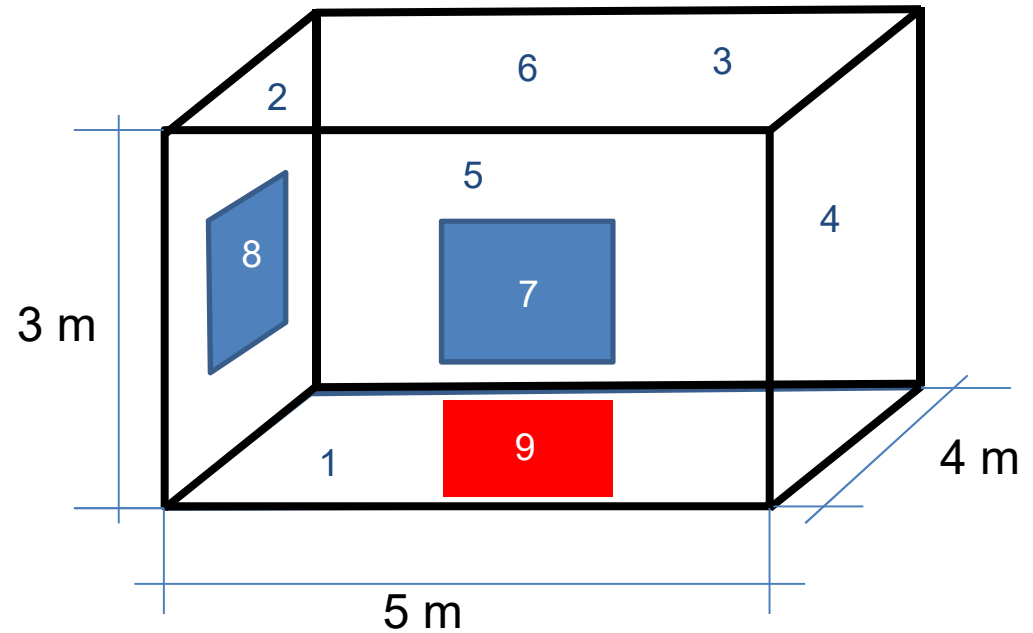
# I terminali idronici

$$q_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{S_{att}} = \sigma_0 e_{att} (T_p^4 - T_{mri}^4)$$

Valutazione valore massimo  $q_{rad}$

$e_{att}=1$ ,  $T_p=60^\circ\text{C}$

Caso 2: Pareti e finestre «calde»



Superficie		stato	Temperatura [°C]	Area [m <sup>2</sup> ]
1	pavimento	Inattivo	20	19
2	Par. ext.	Inattivo	18.5	10
3	Par. int.	Inattivo	20	15
4	Par. int.	Inattivo	20	12
5	Par. ext.	Inattivo	18.5	13
6	soffitto	Inattivo	20	20
7	finestra	inattivo	18	2
8	finestra	inattivo	18	2
9	radiatore	attivo	60	1

$$T_{mri} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j T_j}{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j} = 19.5^\circ\text{C}$$

$$q_{rad, \max} = 282 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

**-1%**

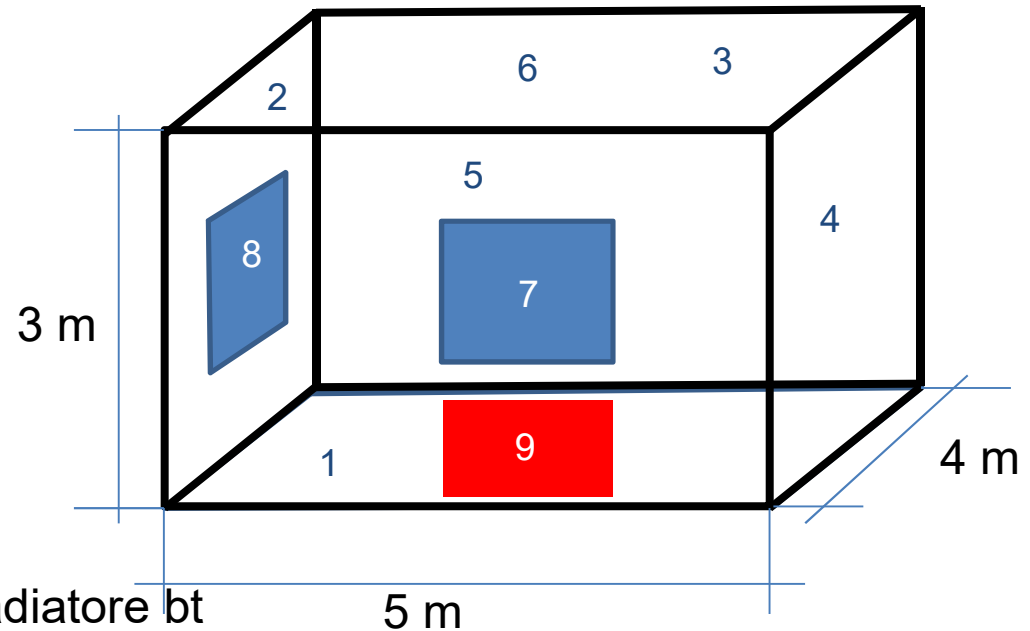
# I terminali idronici

$$q_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{S_{att}} = \sigma_0 e_{att} (T_p^4 - T_{mri}^4)$$

Valutazione valore massimo  $q_{rad}$

$e_{att}=1, T_p=45^\circ\text{C}$

Caso 3: Pareti e finestre «calde» con radiatore bt



Superficie		stato	Temperatura [°C]	Area [m <sup>2</sup> ]
1	pavimento	Inattivo	20	19
2	Par. ext.	Inattivo	18.5	9
3	Par. int.	Inattivo	20	15
4	Par. int.	Inattivo	20	12
5	Par. ext.	Inattivo	18.5	13
6	soffitto	Inattivo	20	20
7	finestra	inattivo	18	2
8	finestra	inattivo	18	2
9	<b>radiatore</b>	<b>attivo</b>	<b>45</b>	<b>1</b>

$$T_{mri} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j T_j}{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j} = 19.5^\circ\text{C}$$

$$q_{rad, \max} = 165 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

**-42.5%**

# I terminali idronici

Componente convettiva:

$$q_{cv} = \frac{\dot{Q}_{cv}}{S_{att}} = h(T_p - T_a) = \frac{Nu\lambda}{L_c}(T_p - T_a)$$

Convezione forzata:

$$Nu = A Re^a Pr^b$$

- Nu dipende dalla velocità dell'aria imposta
- Valori del coefficiente di scambio elevati
- Presenza ventilatori
- Potenziale rumorosità
- Reversibilità dello scambio (caldo/freddo)

Convezione naturale:

$$Nu = C Gr^n Pr^m$$

- La velocità dell'aria dipende dalla geometria
- Limitati valori del coefficiente di scambio
- Assenza ventilatori
- Inversione del moto (caldo/freddo)



# I terminali idronici

Componente radiativa+convettiva:

$$\dot{Q}_{cv+rad} = \dot{Q} = K |T_p - T_a|^n$$

K dipende da:

- Geometria del locale in cui il terminale è inserito (pannelli radianti)
- Geometria del terminale (radiatori, termoconvettori, ventilconvettori)
- Velocità dell'aria (ventilconvettori)

Nei sistemi «a convezione naturale» l'esponente  $n$  indica se lo scambio termico predominante nel terminale è di tipo radiante ( $n$  bassi) o convettivo ( $n$  alti).



# I terminali idronici

Radiatori: 
$$\dot{Q} = Q_{nom} \left( \frac{T_p - T_a}{50} \right)^n$$

L'esponente  $n$  cresce se:

- Il radiatore è sviluppato in verticale ( $H \gg$ )
- Il numero di colonne è grande
- La profondità del radiatore è grande

L'esponente  $n$  cala se:

- Il radiatore ha un'ampia superficie frontale

Se  $1 < n < 1.1$  : radiatore con scambio radiativo significativo

Se  $1.1 < n < 1.4$  : radiatore con scambio prevalentemente convettivo (convezione naturale)





# I terminali idronici

Radiatori a bassa temperatura ( $n < 1.29$ ):

$$\dot{Q} = Q_{nom} \left( \frac{T_p - T_a}{50} \right)^n$$



## A sviluppo verticale ( $1.2 < n < 1.29$ )

- Convezione significativa anche con unica colonna e bassa temperatura
- 50% convezione + 50% irraggiamento



## A sviluppo orizzontale ( $1.1 < n < 1.2$ )

- Convezione naturale ridotta
- Superfici di contatto con aria maggiorate
- Superficie frontale maggiorata
- 40% convezione + 60% irraggiamento



# I terminali idronici

Radiatori a bassa temperatura ( $n < 1.29$ ):

$$\dot{Q} = Q_{nom} \left( \frac{T_p - T_a}{50} \right)^n$$

n=1.4			n=1.1		
$T_p - T_a$ [K]	Q [W]	$\Delta$ [%]	$T_p - T_a$ [K]	Q [W]	$\Delta$ [%]
50	1000	-	50	1000	-
40	732	-27	40	782	-22
30	489	-51	30	570	-43
20	277	-72	20	365	-64

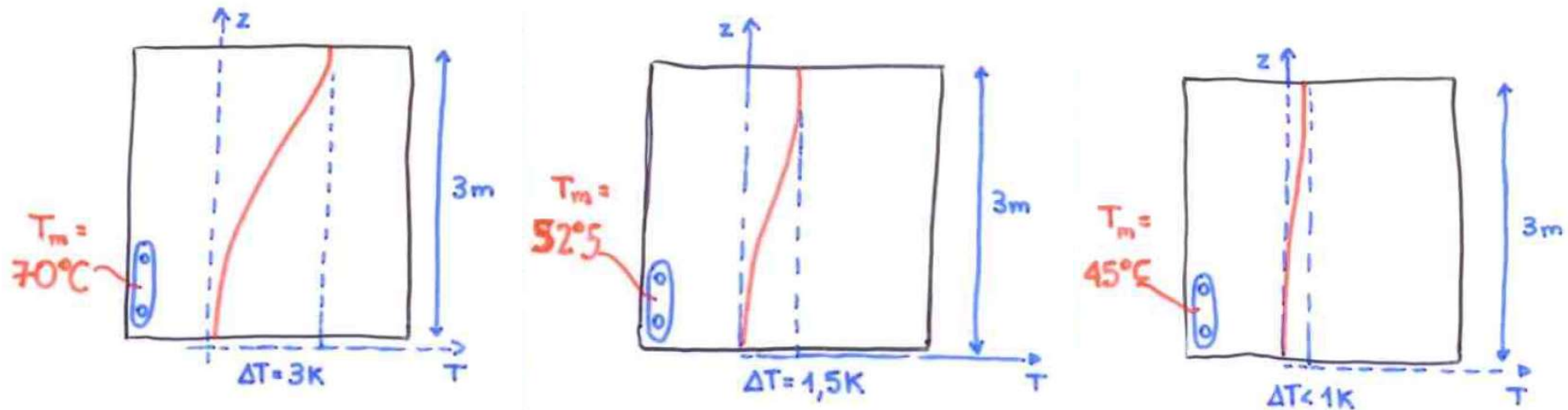
Se il valore di  $n$  è basso il radiatore è meno penalizzato (in termini di potenza emessa) se si riduce la temperatura media dell'acqua al suo interno.



# I terminali idronici

Radiatori a bassa temperatura ( $n < 1.29$ ):

$$\dot{Q} = Q_{nom} \left( \frac{T_p - T_a}{50} \right)^n$$



Radiatori con  $n$  basso alimentati a bassa temperatura riducono il gradiente di temperatura verticale nelle zone termiche:

( $\Delta T < 0.33 \text{ K/m}$ )



# I terminali idronici

## Radiatori a bassa temperatura ( $n < 1.29$ ):

### PRO

- Compatibili con Pompe di Calore
- Se accoppiati a caldaie a condensazione generano un aumento dell'indice di condensazione
- In abbinamento con caldaie permettono di avere a disposizione una EXTRA-POTENZA per la gestione dei transitori (avviamenti a freddo, regime intermittente)

### CONTRO

- Costringono ad installare elevate superfici di scambio per lavorare a bassa temperatura
- Utilizzabili solo in inverno

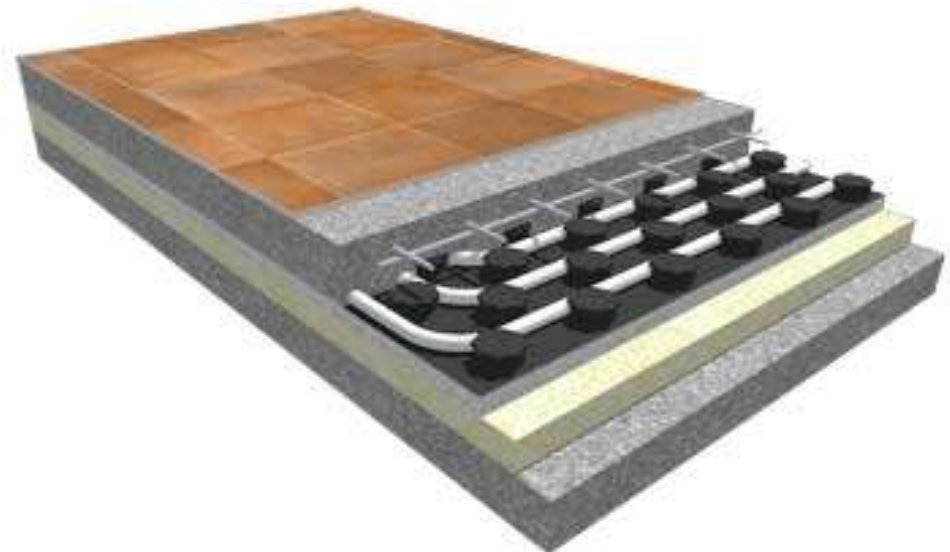


# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento



«bassa inerzia»



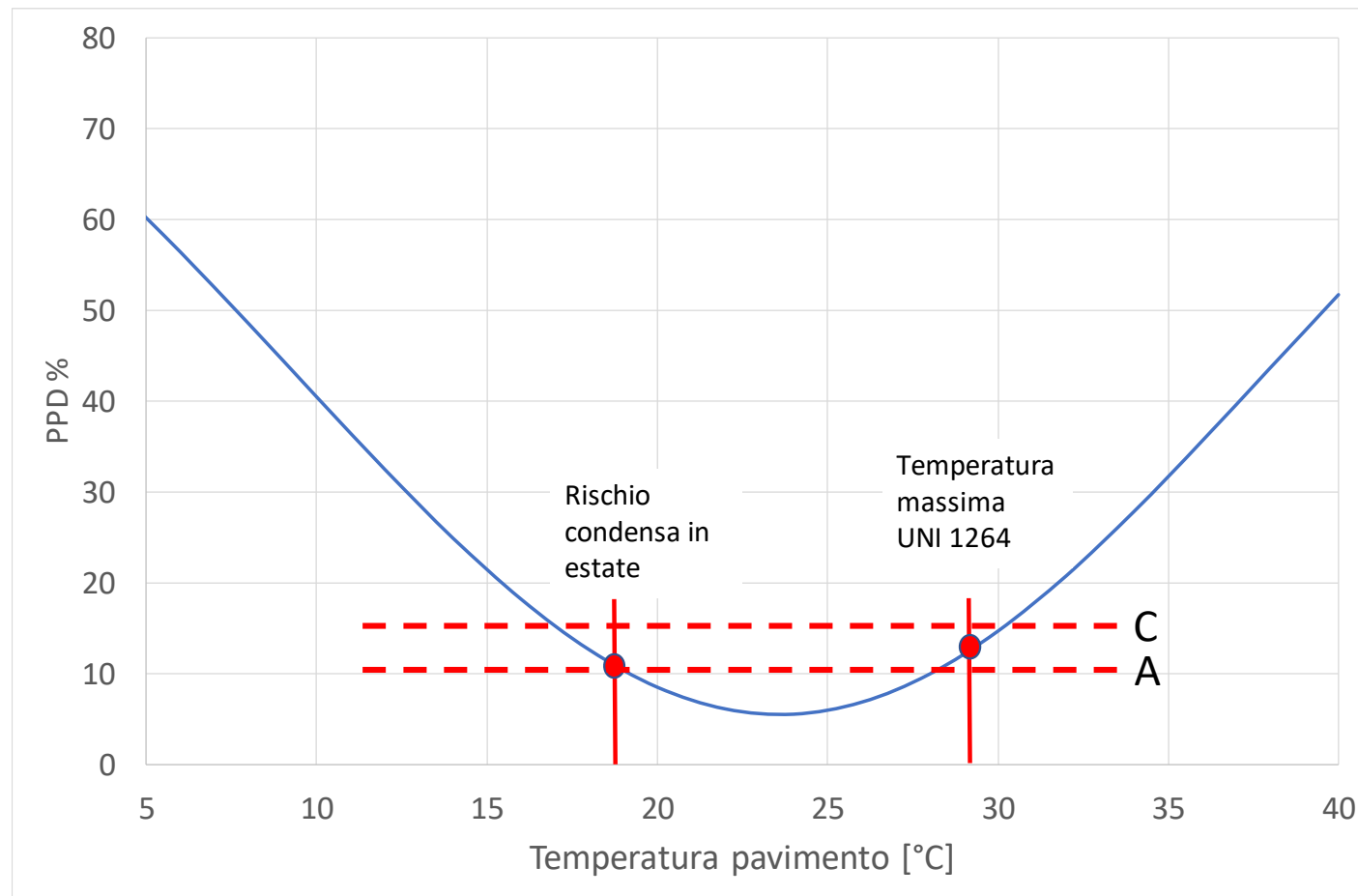
«alta inerzia»



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

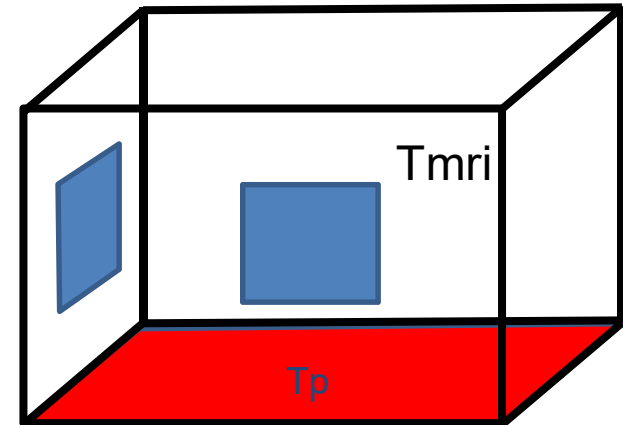
Temperatura del pavimento



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

Percentuale di scambio radiativo ( $T_a=20^\circ\text{C}$  in inverno)



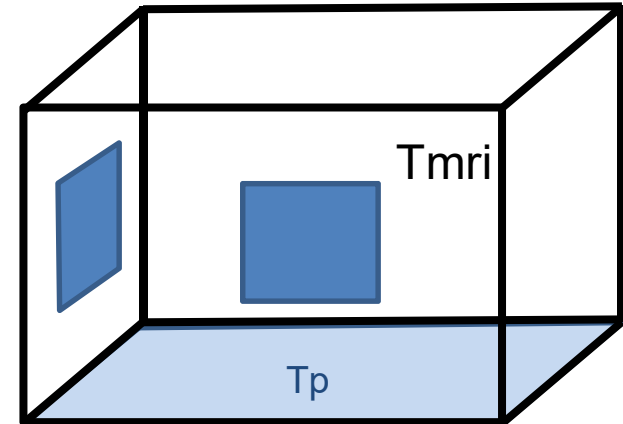
$T_p$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$T_{mri}$ [ $^\circ\text{C}$ ]		
	16	18	20
20	100	100	-
21	82	73	48
22	73	65	48
23	68	60	48
24	65	58	48
25	62	57	48
26	61	55	49
27	59	55	49
28	58	54	49
29	58	54	49



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

Percentuale di scambio radiativo ( $T_a=26^\circ\text{C}$  in estate)



$T_p$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$T_{mri}$ [ $^\circ\text{C}$ ]		
	26	28	30
19	77	82	85
20	78	82	85
21	78	83	86
22	78	84	88
23	78	86	89
24	78	88	92
25	78	91	95
26	-	100	100



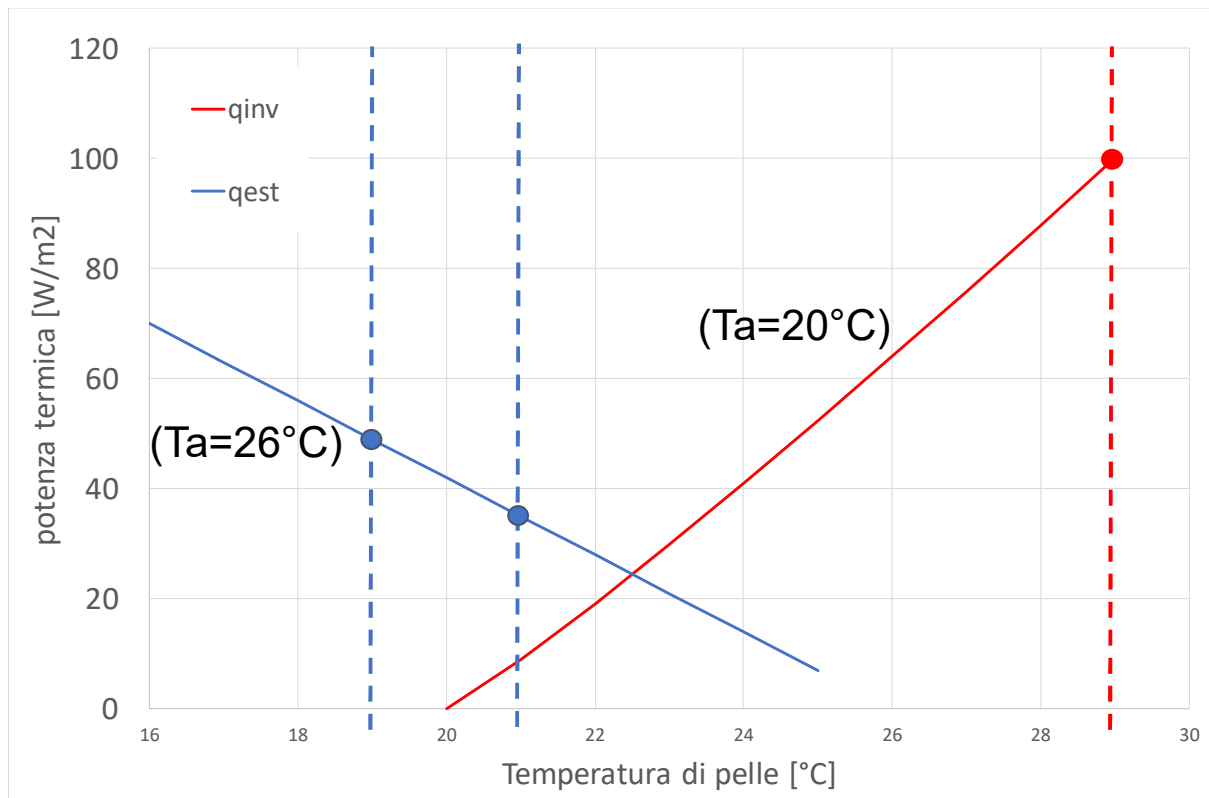


# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

UNI EN 1264:  $\dot{q}_{inv} = K_{inv} (T_p - T_a)^n = 8.92 (T_p - T_a)^{1.1} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$

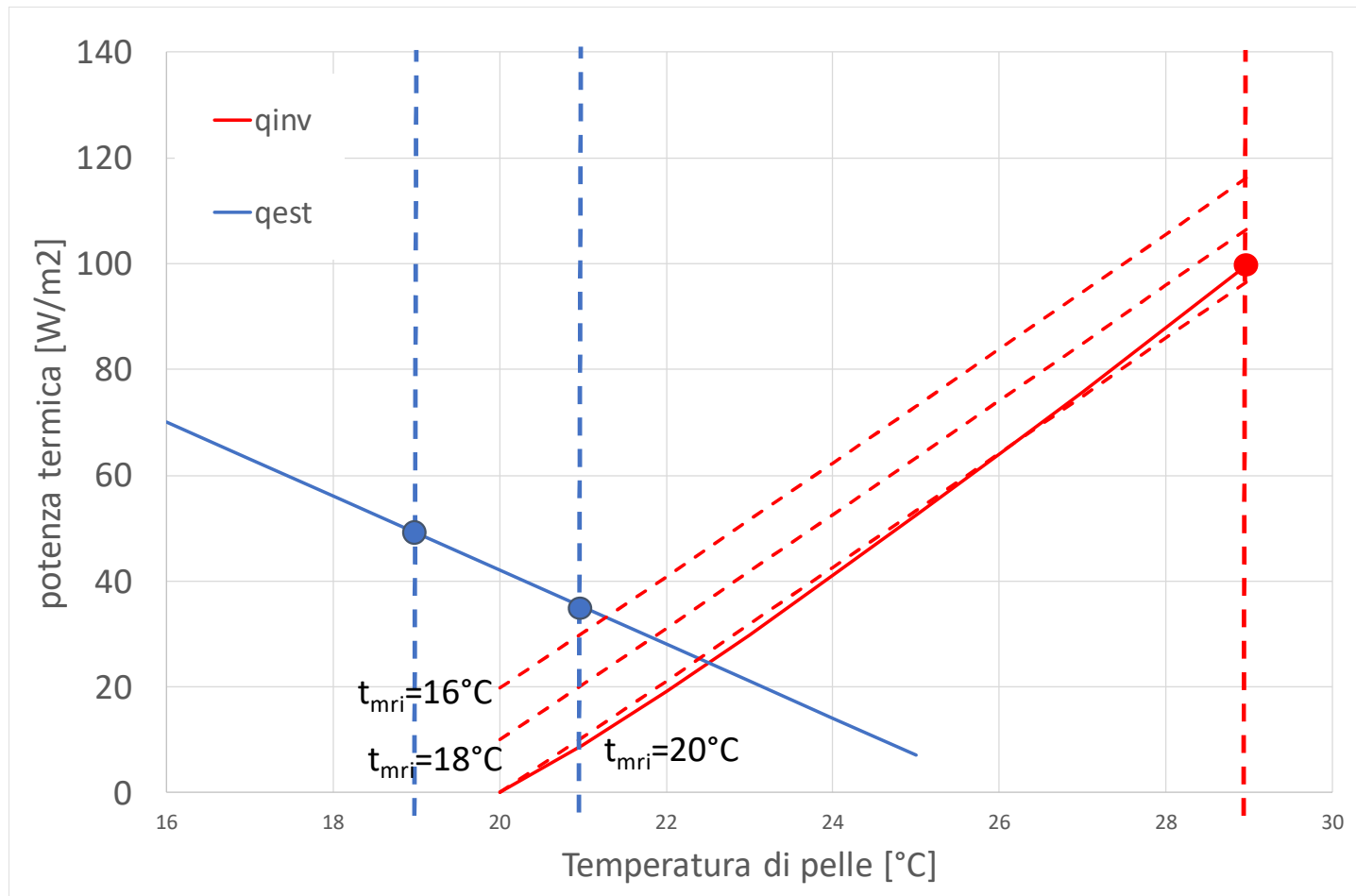
$$\dot{q}_{est} = K_{est} (T_a - T_p)^n = 7 (T_a - T_p) \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

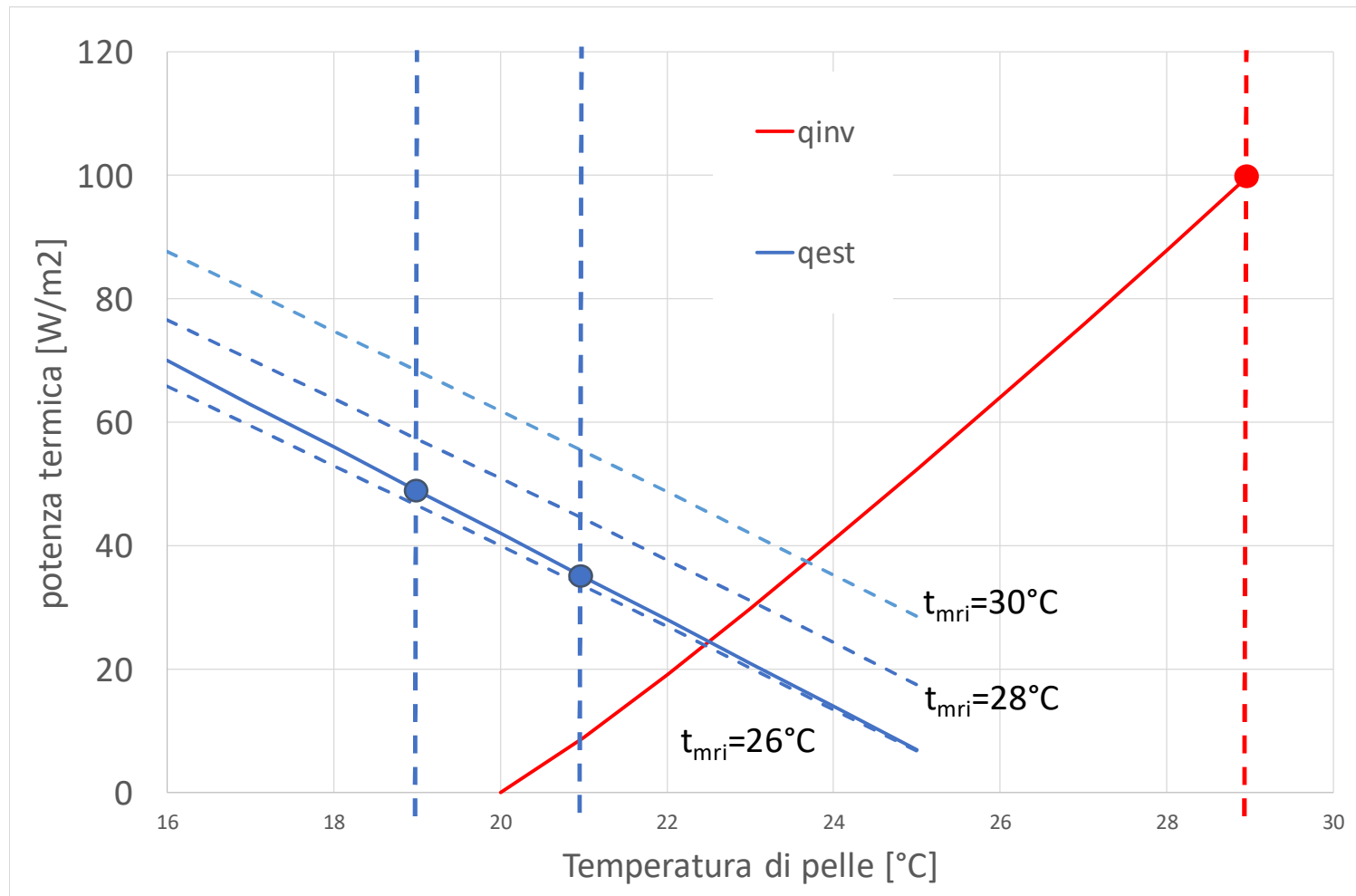
Influenza della temperatura delle pareti fredde (caso invernale):



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

Influenza della temperatura delle pareti calde (caso estivo):

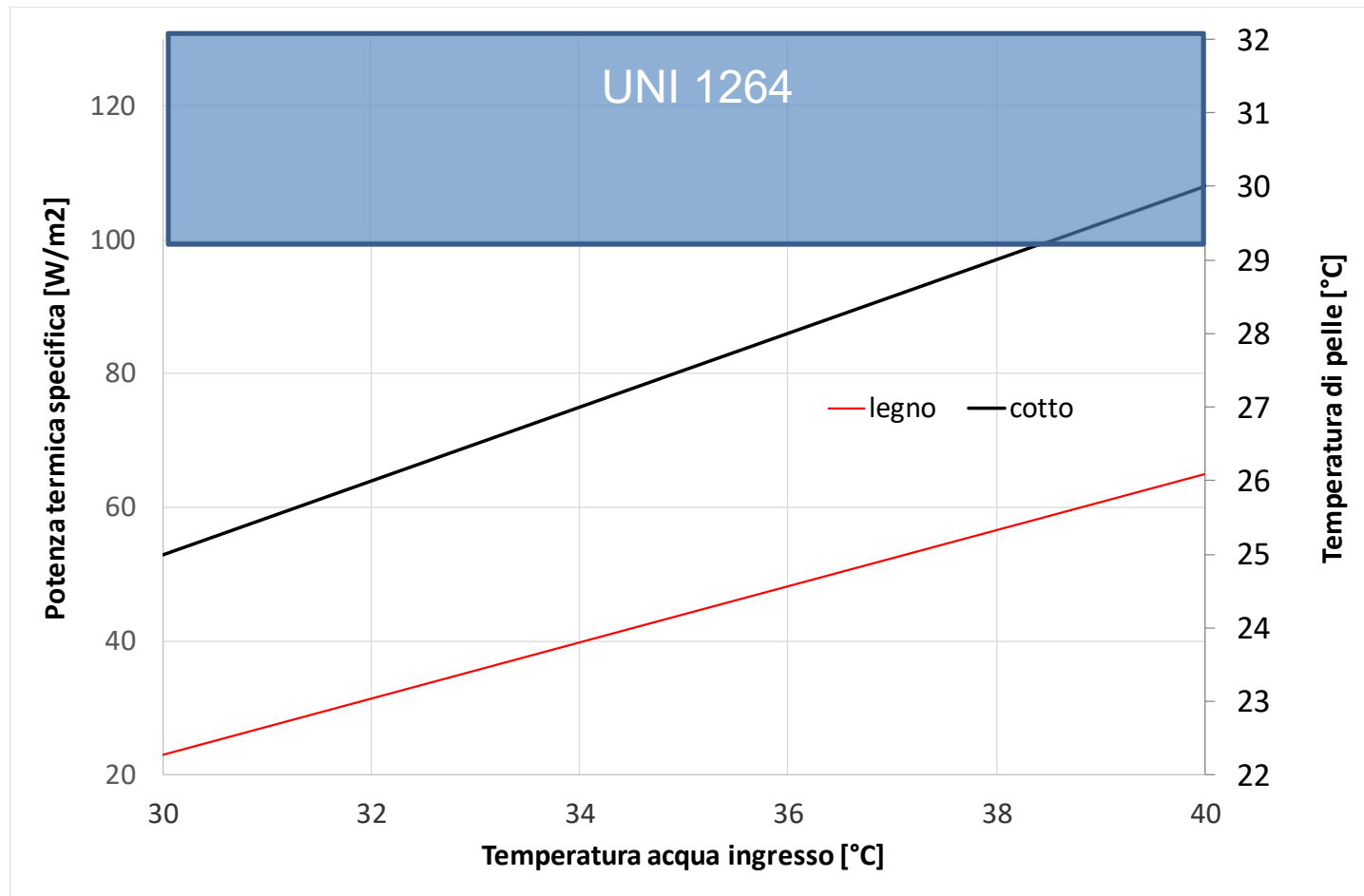


# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

Temperatura di pelle vs temperatura acqua in ingresso (caso invernale)

4 cm di massetto; passo 10 cm:

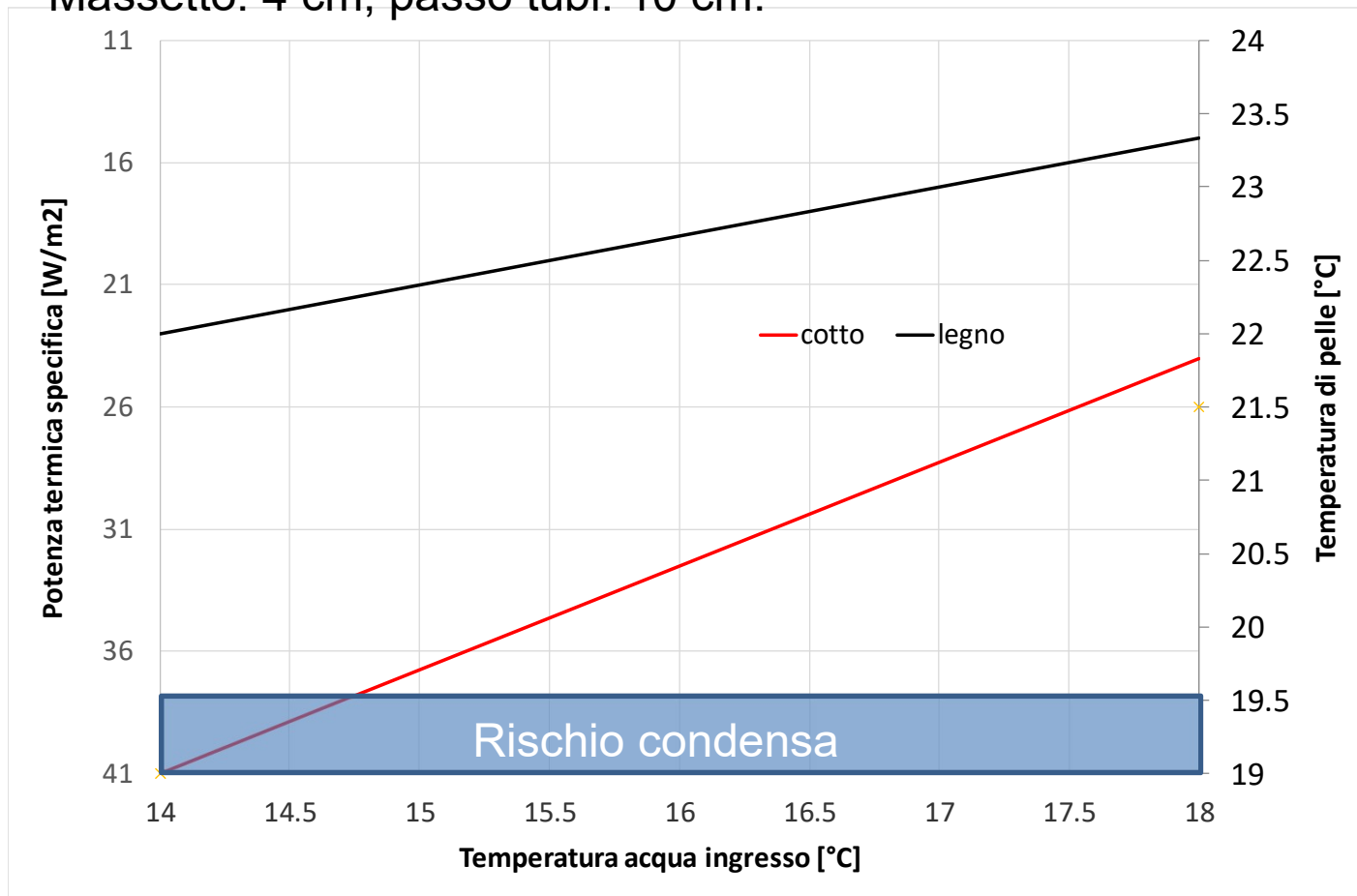


# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

Temperatura di pelle vs temperatura acqua in ingresso (caso estivo):

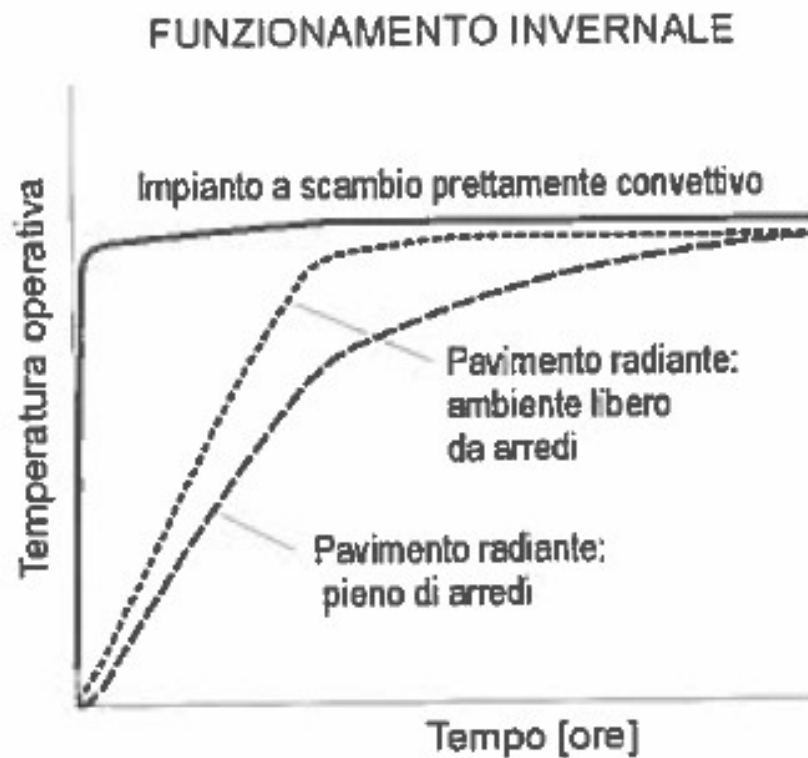
Massetto: 4 cm; passo tubi: 10 cm:



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

### Ruolo dell'arredo

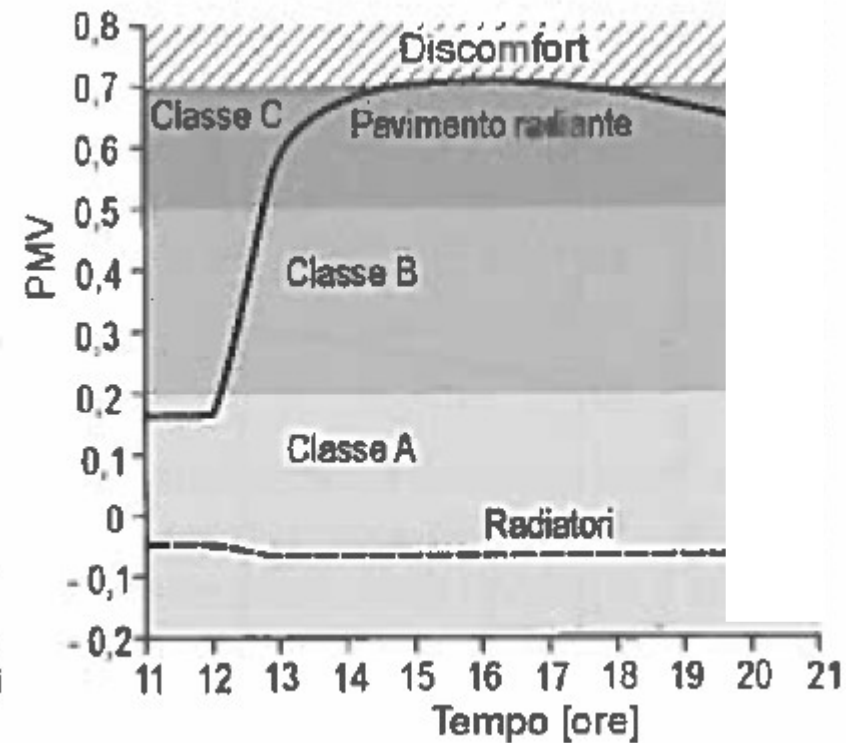
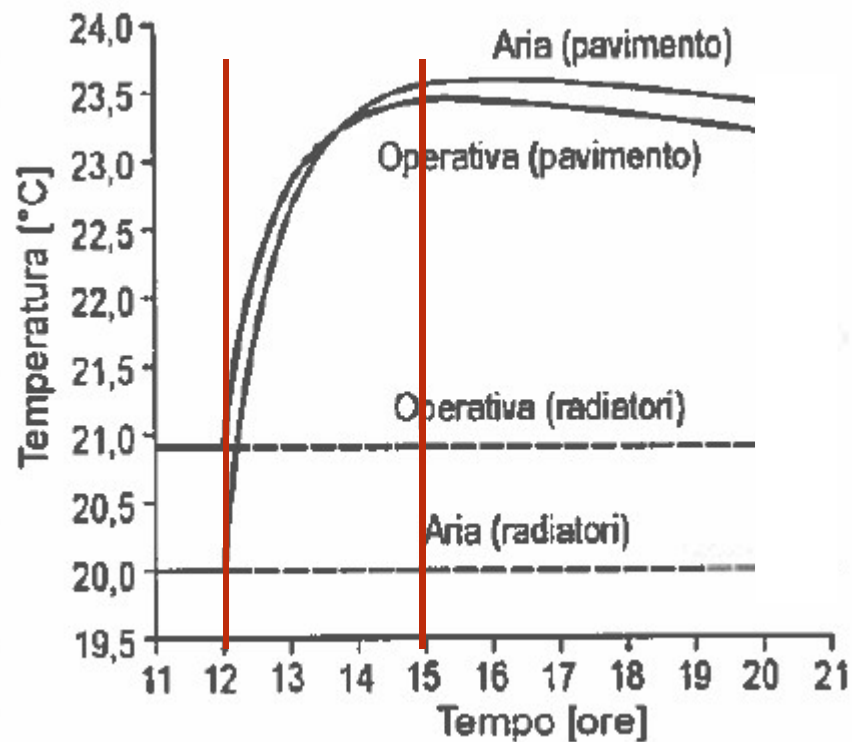


# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

### Tempi di reazione

Cucina in cui alle 12.00 i carichi endogeni annullano le dispersioni

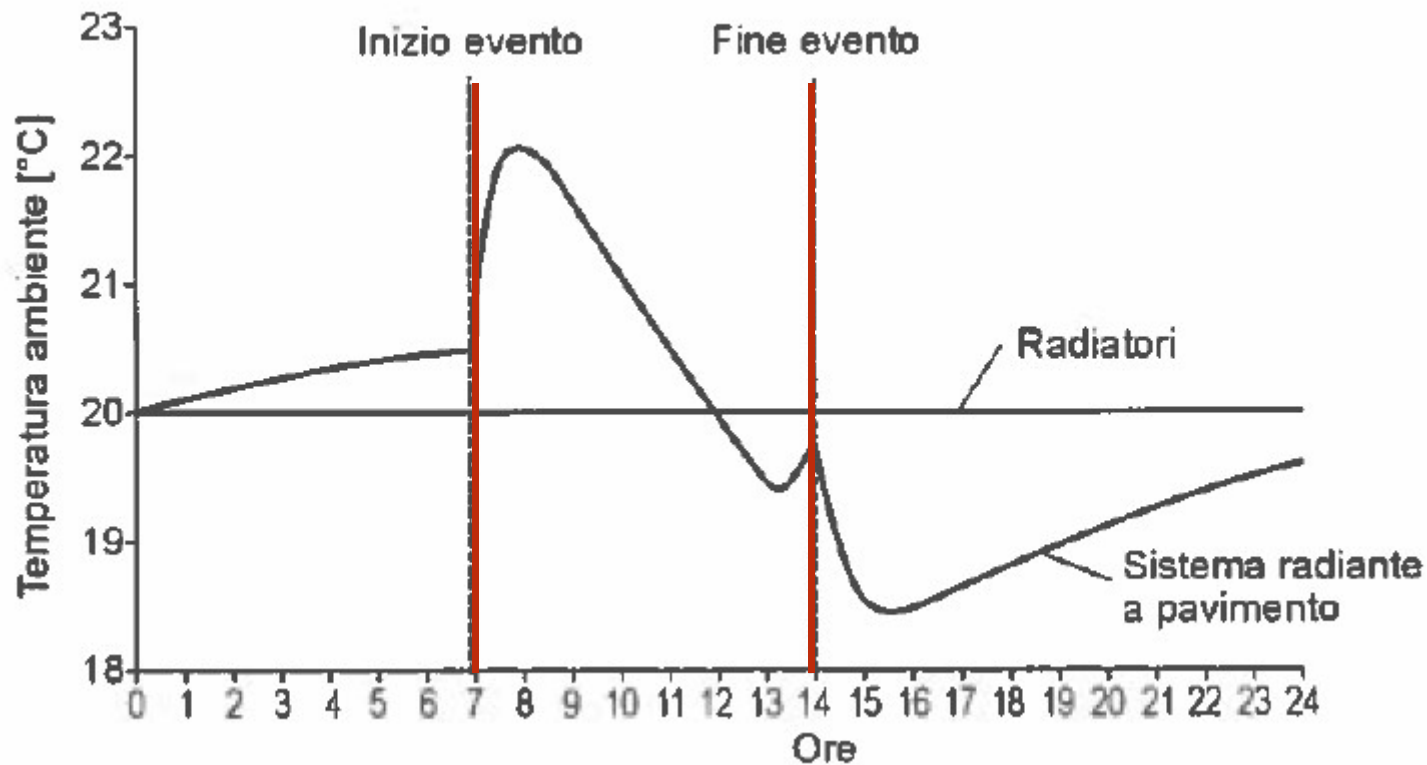


# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

### Tempi di reazione

7 ore di dimezzamento del carico durante la giornata (7-14)



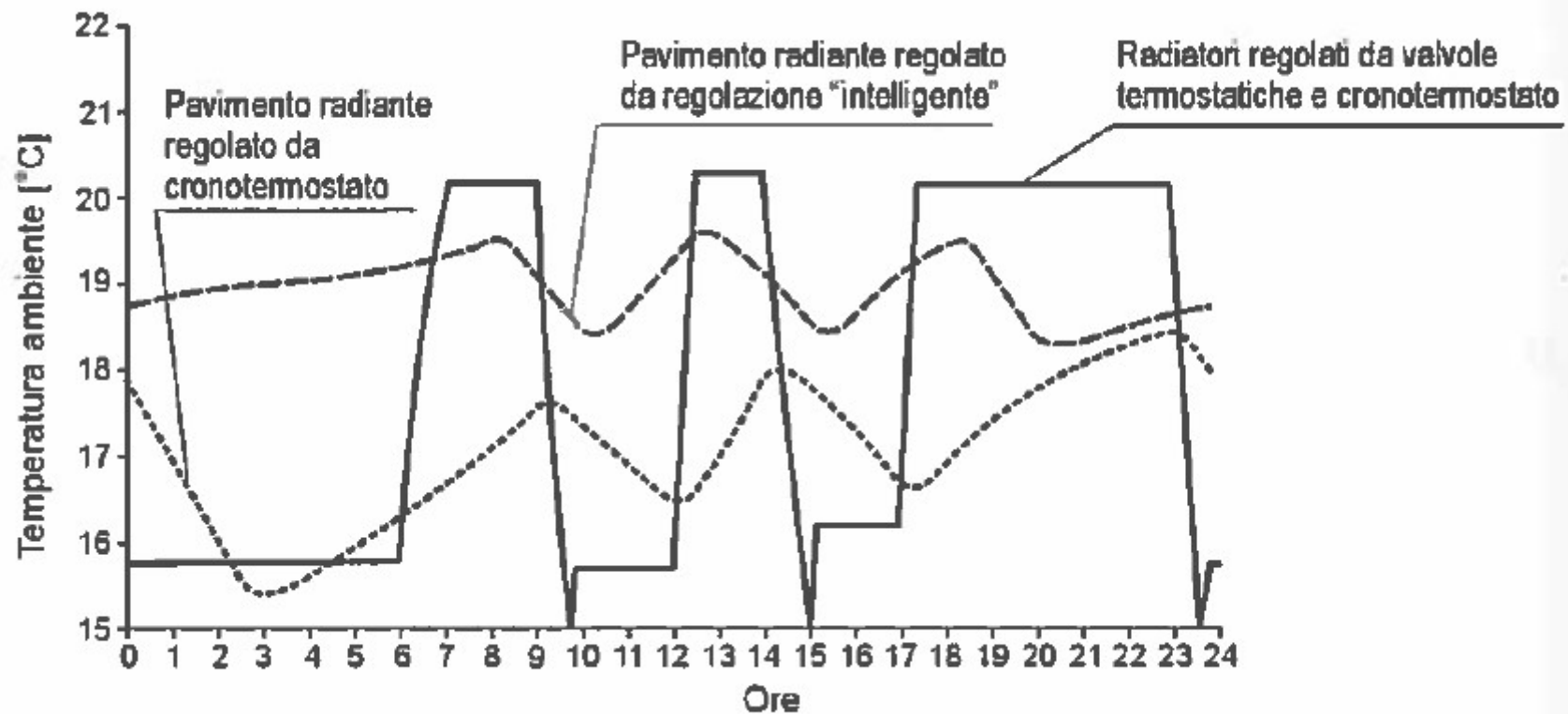


# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

### Tempi di reazione

Funzionamento continuo o intermittente?



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a pavimento

### PRO

- Bassa temperatura acqua mandata
- Compatibili con Pompe di Calore e caldaie a condensazione
- Reversibili (inverno/estate) solo se accoppiati con deumidificatori (vmc) per il controllo dell'umidità (scambio solo sensibile): differenza di resa (est/inv)
- Se a «bassa inerzia» compatibili con uso intermittente

### CONTRO

- Bassa EXTRA-POTENZA per gli avviamenti
- Se ad «alta inerzia» non compatibili con uso intermittente
- Compatibili solo con regolazioni «on-off»
- Interazione con arredamento (tappeti)



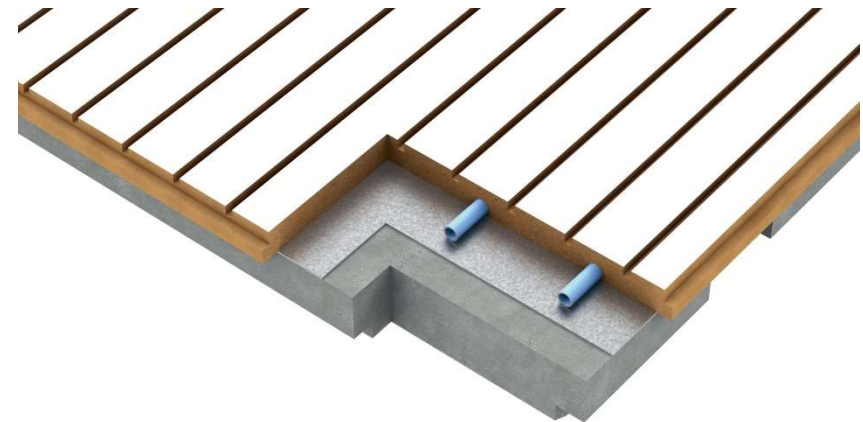
# I terminali idronici

**Pannelli radianti a soffitto**

«pannelli di cartongesso»



«pannelli in MDF»



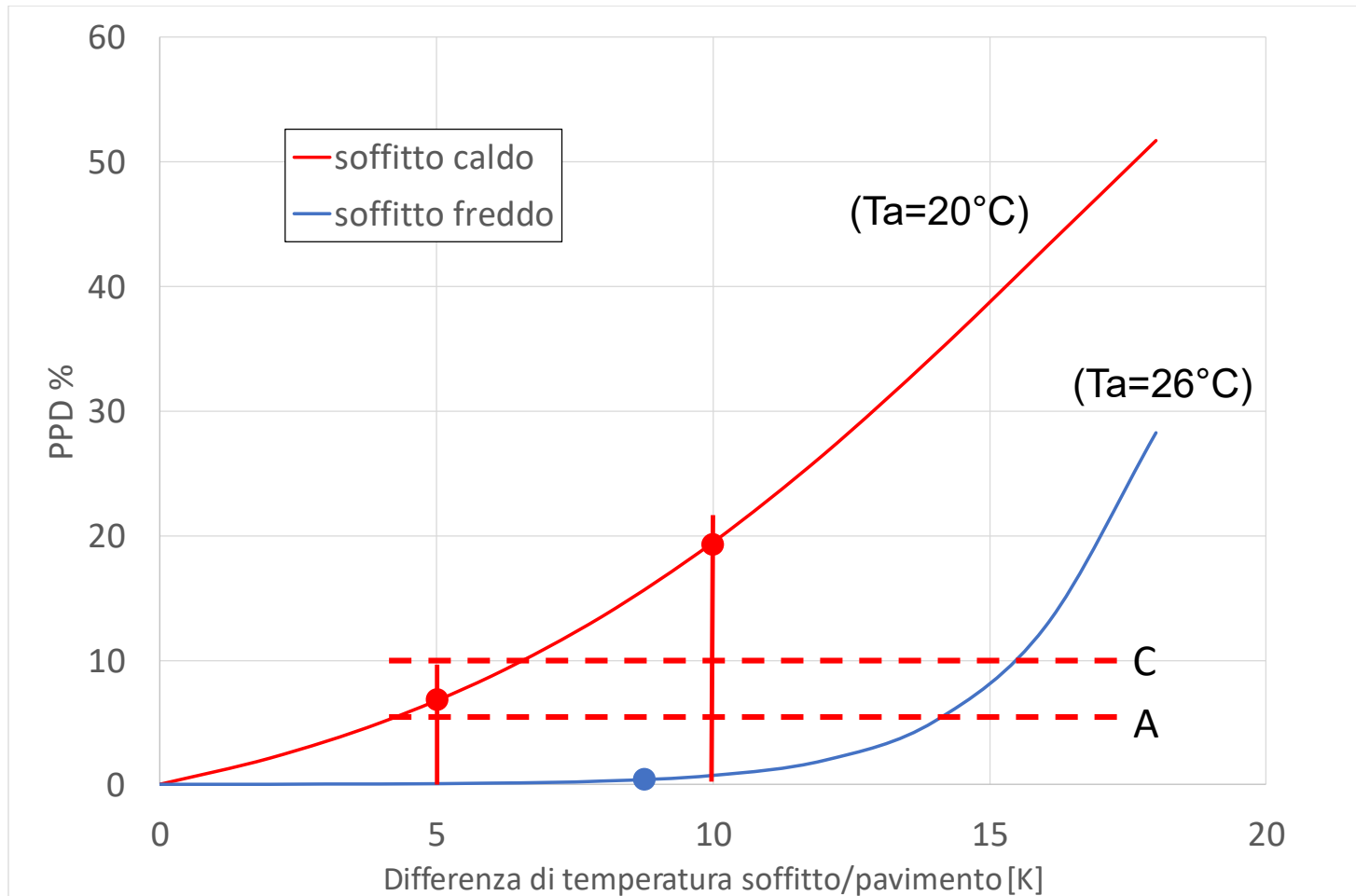
«pannelli in metallo forato»



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto

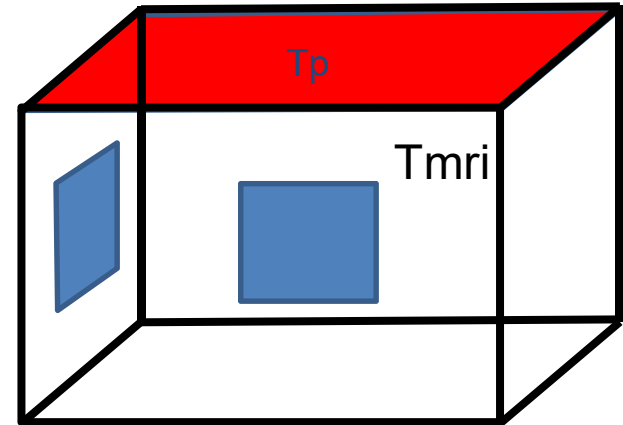
### Asimmetria radiante



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto

Percentuale di scambio radiativo ( $T_a=20^\circ\text{C}$  in inverno)



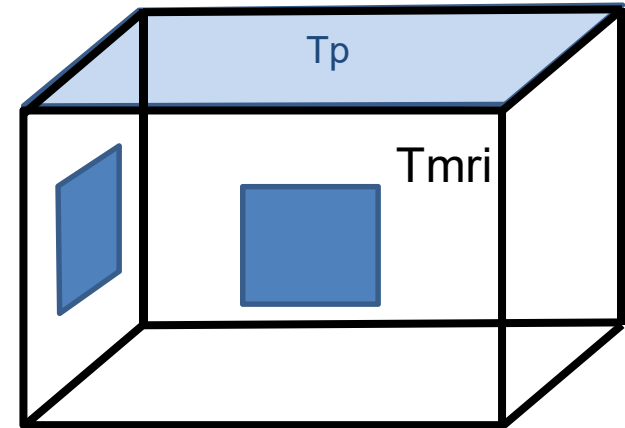
$T_p$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$T_{mri}$ [ $^\circ\text{C}$ ]		
	16	18	20
20	100	100	-
21	97	95	85
22	94	92	85
23	93	91	85
24	92	90	86
25	91	89	86
26	91	89	86
27	90	88	86
28	90	88	86
29	90	88	86



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto

Percentuale di scambio radiativo ( $T_a=26^\circ\text{C}$  in estate)



$T_p$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$T_{mri}$ [ $^\circ\text{C}$ ]		
	26	28	30
19	48	55	60
20	49	56	62
21	49	57	64
22	49	59	66
23	49	62	69
24	49	66	75
25	49	75	83
26	-	100	100

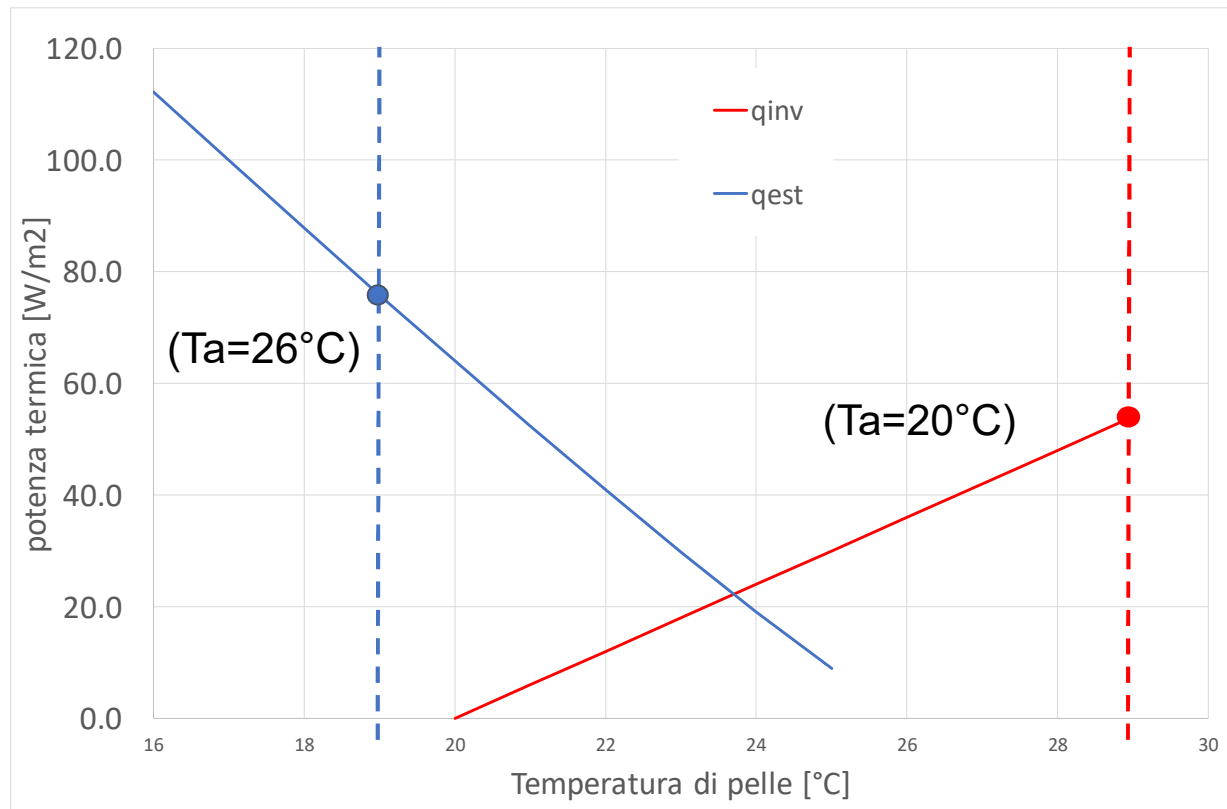
# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto

UNI EN 1264:

$$\dot{q}_{inv} = K_{inv} (T_p - T_a)^n = 7 (T_p - T_a) \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

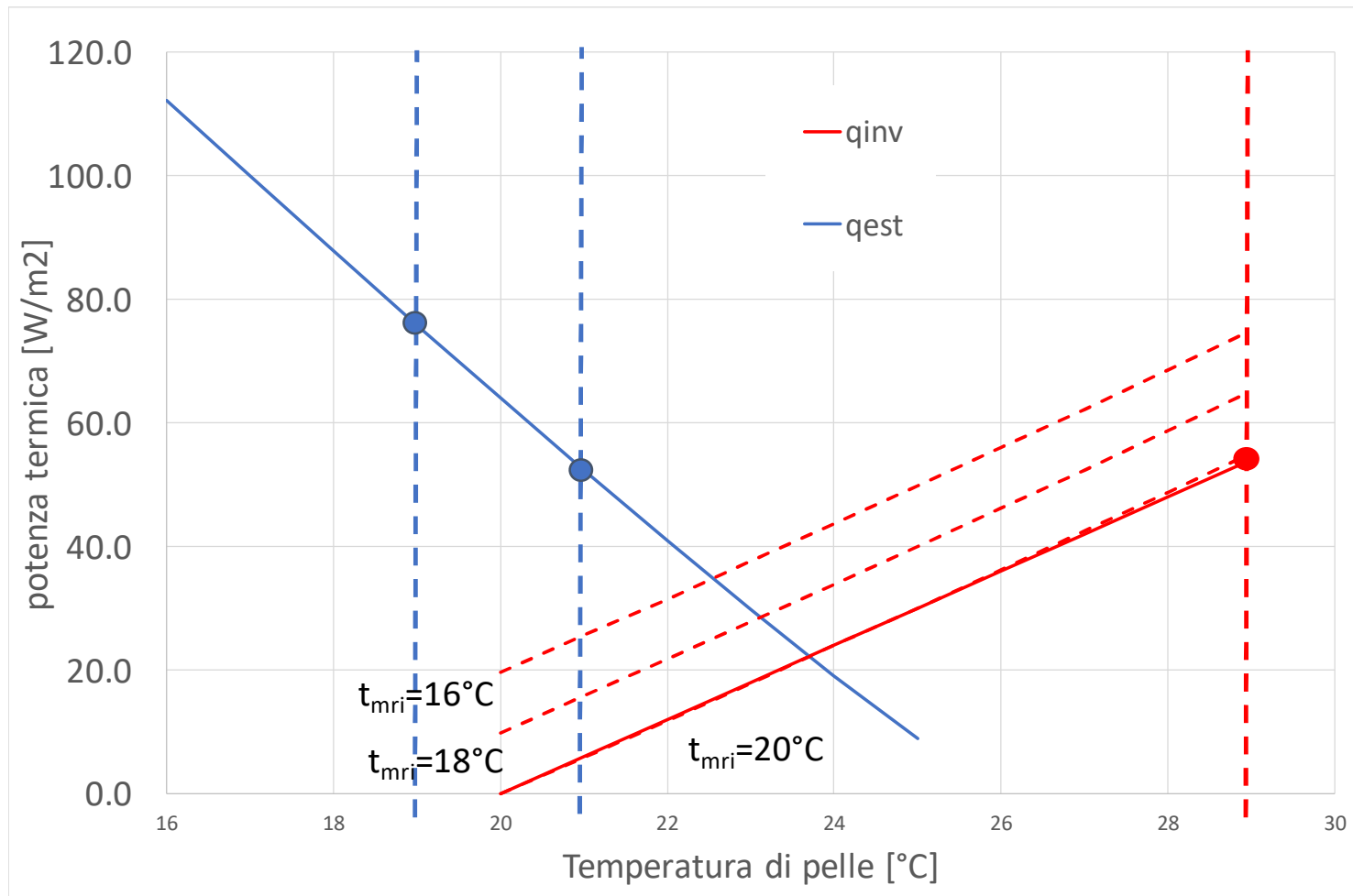
$$\dot{q}_{est} = K_{est} (T_a - T_p)^n = 8.92 (T_a - T_p)^{1.1} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto

Influenza della temperatura delle pareti fredde (caso invernale):

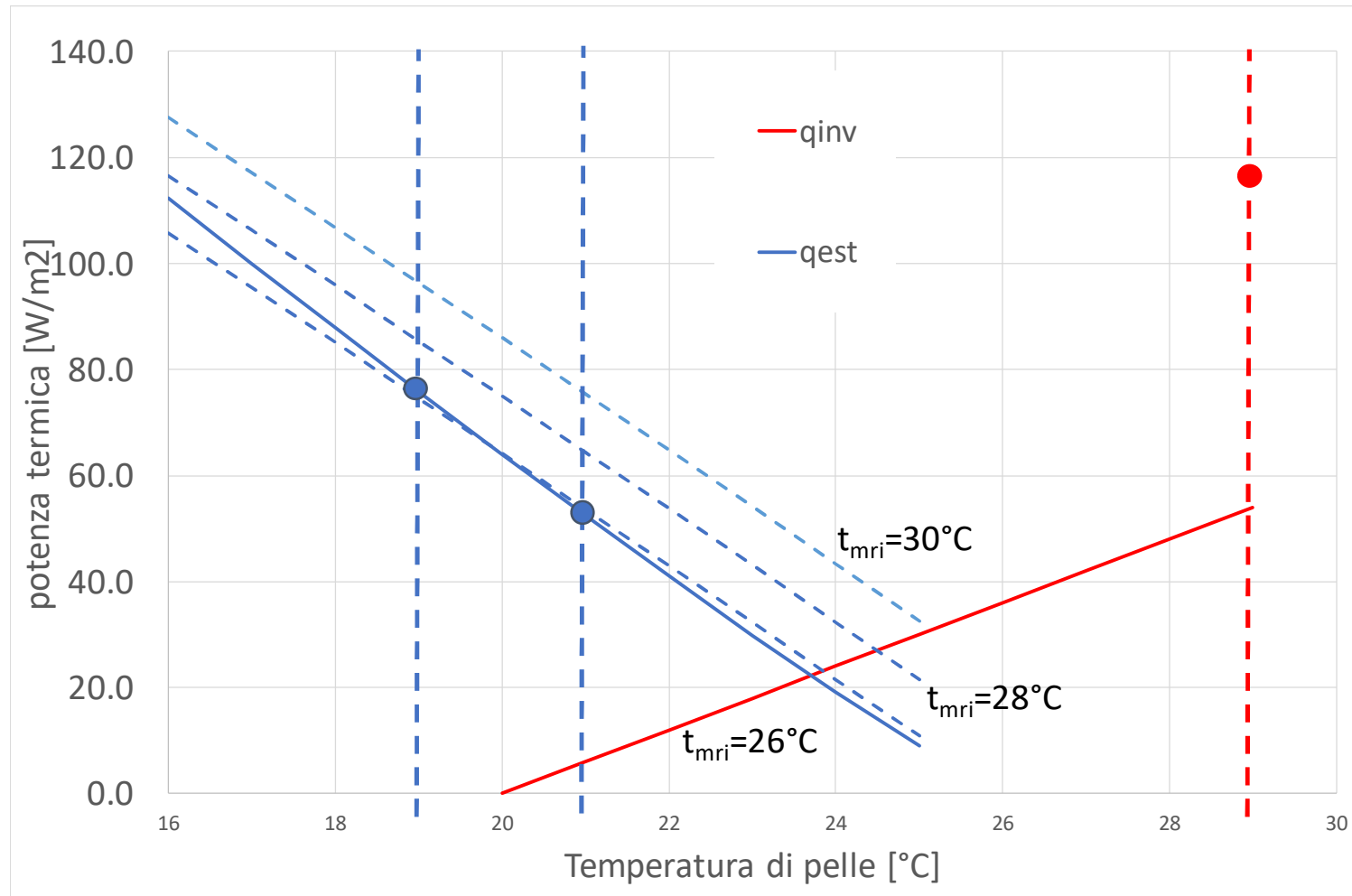




# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto

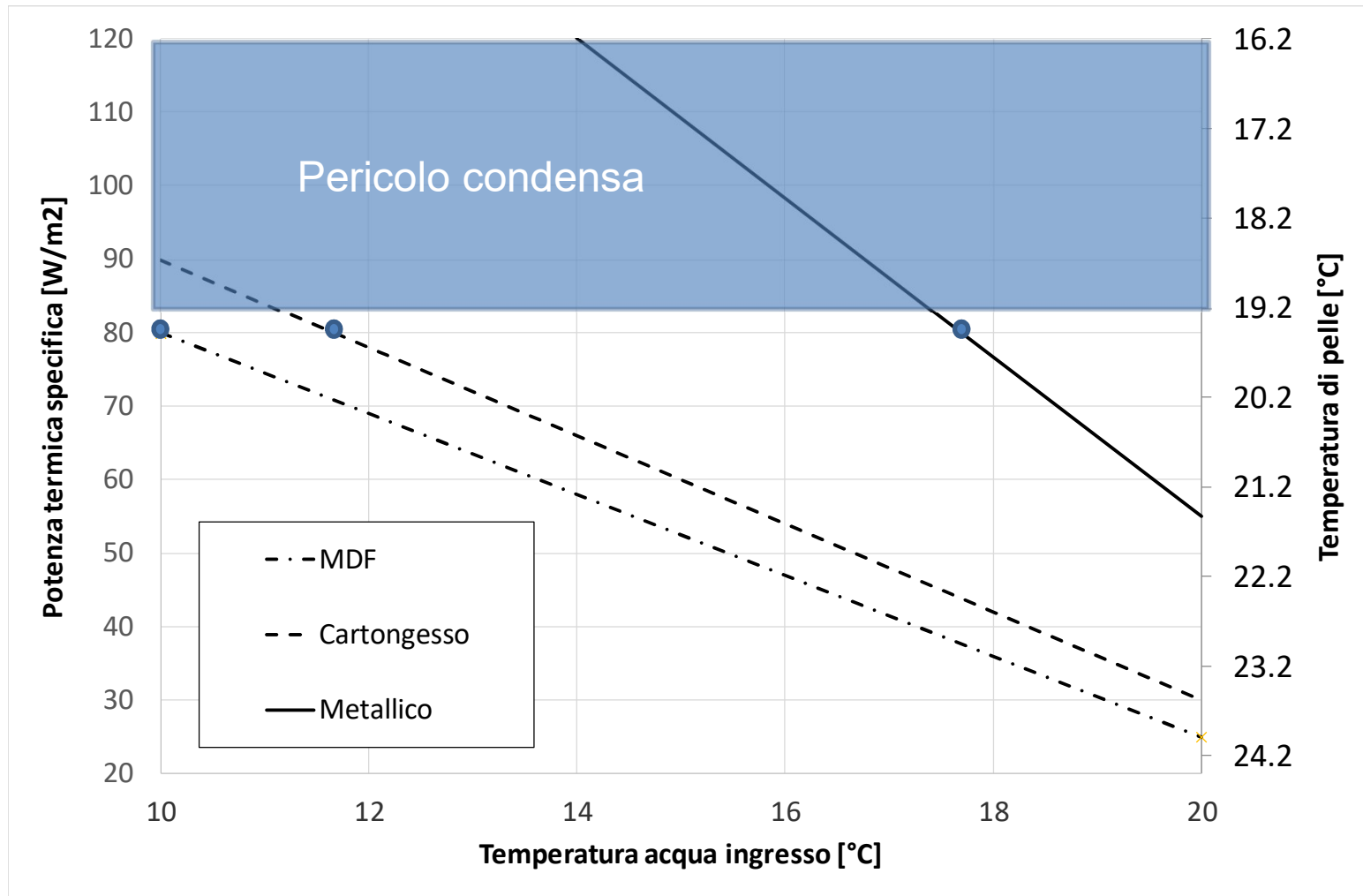
Influenza della temperatura delle pareti calde (caso estivo):



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto

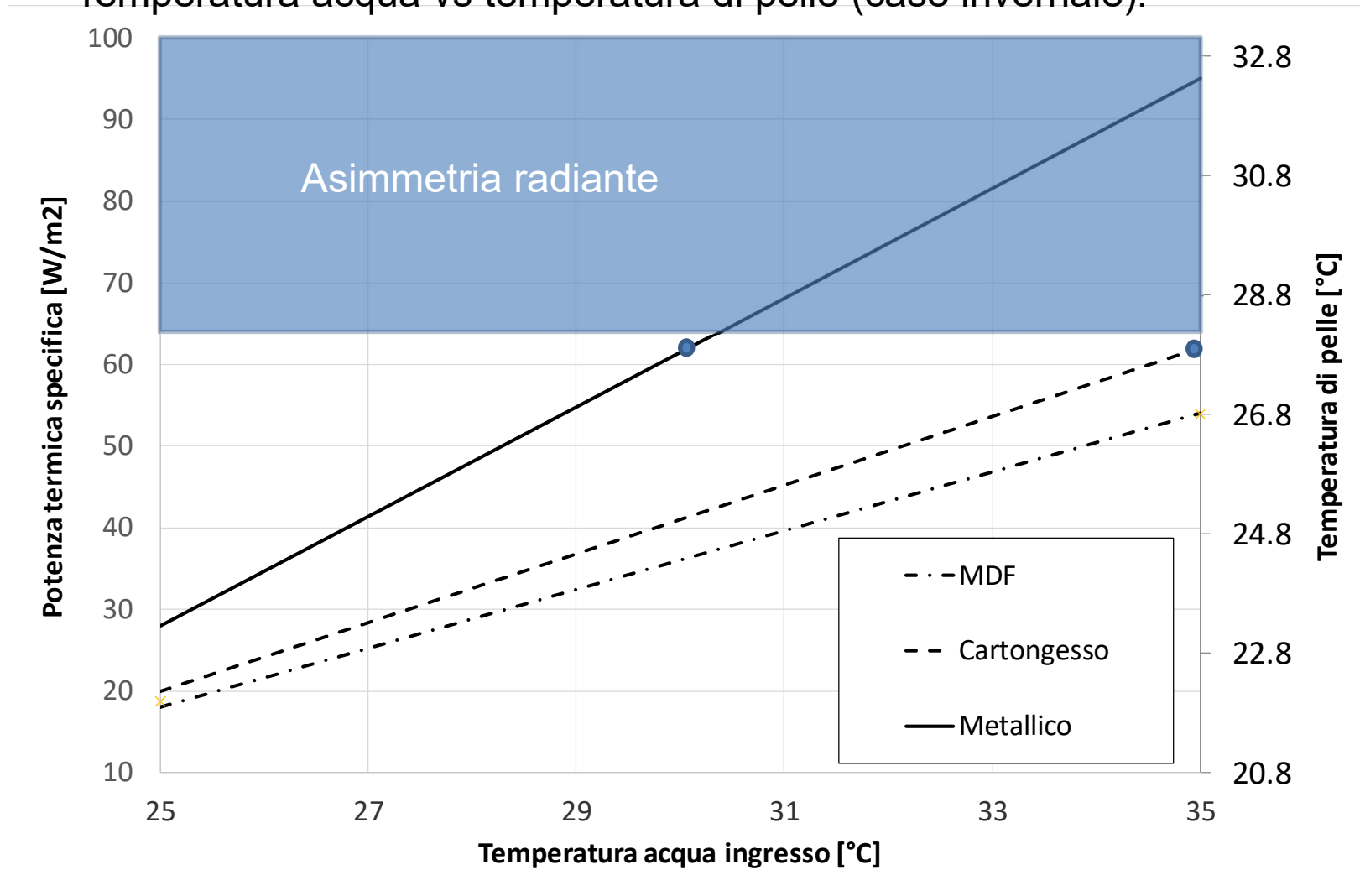
Temperatura acqua vs temperatura di pelle (caso estivo):



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto

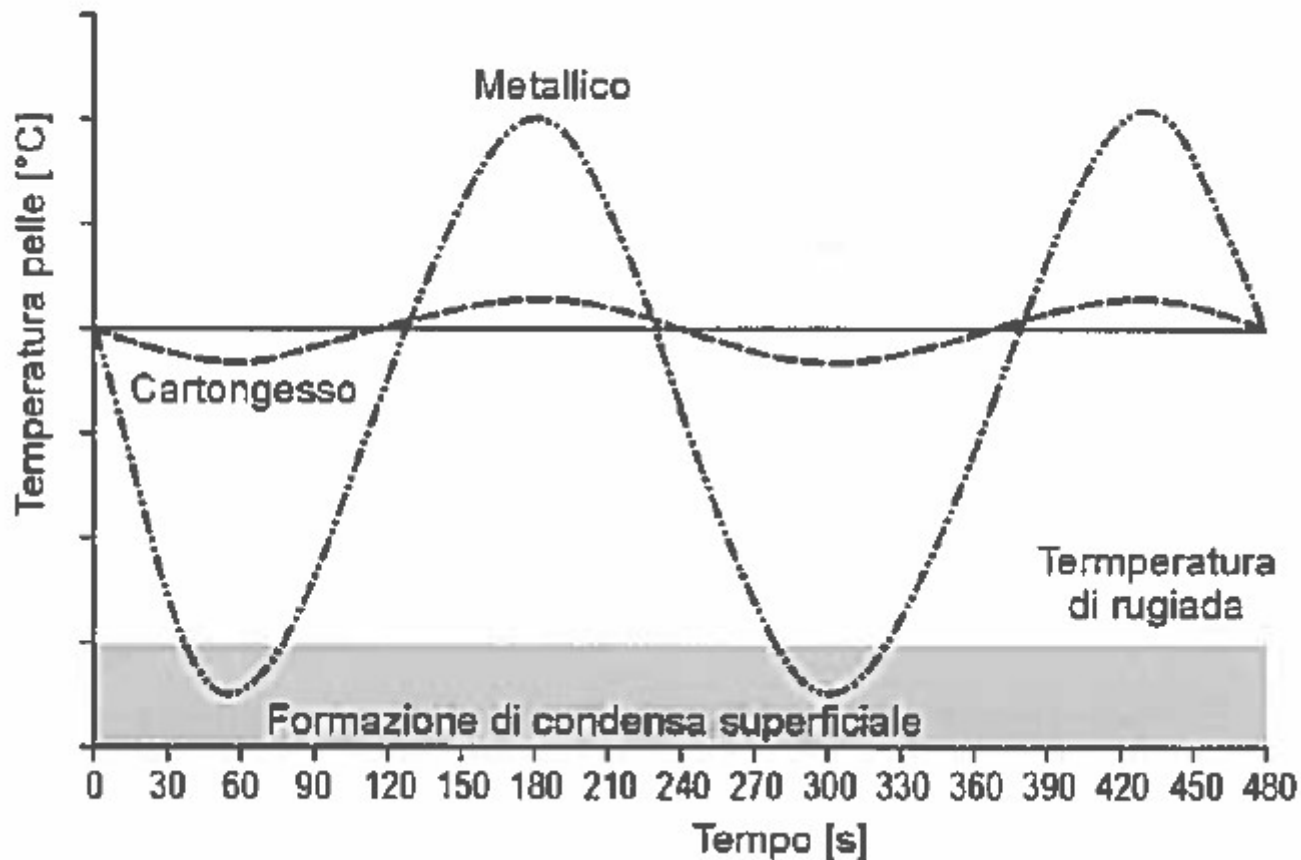
Temperatura acqua vs temperatura di pelle (caso invernale):



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto

Pendolazione valvola di miscelazione (T=2 min) in estate: effetto sulla T di pelle



# I terminali idronici

## Pannelli radianti a soffitto:

### PRO

- Basse temperature di funzionamento (compatibilità con PdC e condensazione)
- Elevata resa termica estiva
- Limitati moti convettivi in inverno (no movimento polvere)
- Buone rese invernali in presenza di pavimenti «caldi» (ospedale)
- Comoda installazione in fase di ristrutturazione
- Bassa inerzia termica (compatibile con funzionamento intermittente)
- Minore interazione con arredamento

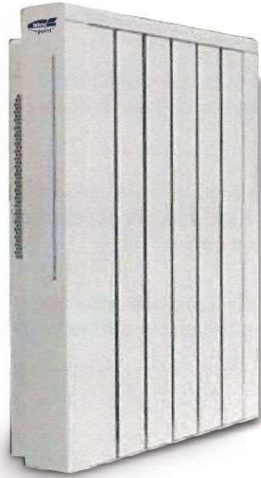
### CONTRO

- Solo scambio sensibile
- In estate il controllo dell'umidità è obbligatorio



# I terminali idronici

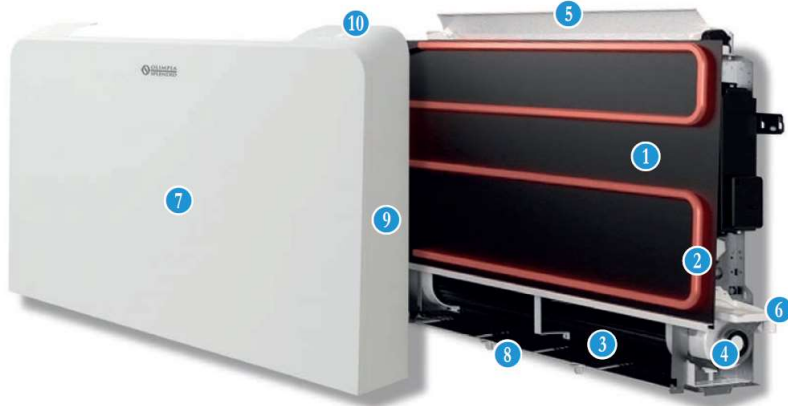
**Ventilconvettori**



**Installazione a parete**



**Ibrido**



**Ventilatore tangenziale**

HOME OF CL



**Ventilatore centrifugo**

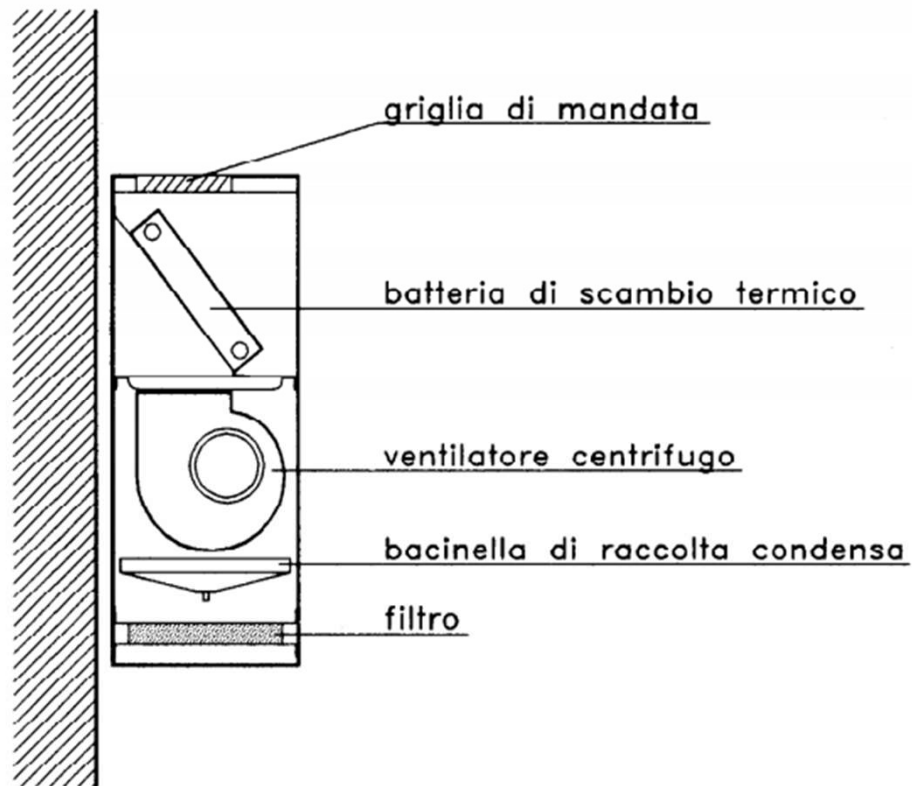
**Installazione a controsoffitto**



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# I terminali idronici

## Ventilconvettori



## Batteria di scambio termico:

batteria con alette in alluminio

(0.15-0.2 mm) mandriate su tubi

di rame

## Ventilatore:

Centrifugo o tangenziale

## Raccolta condensa:

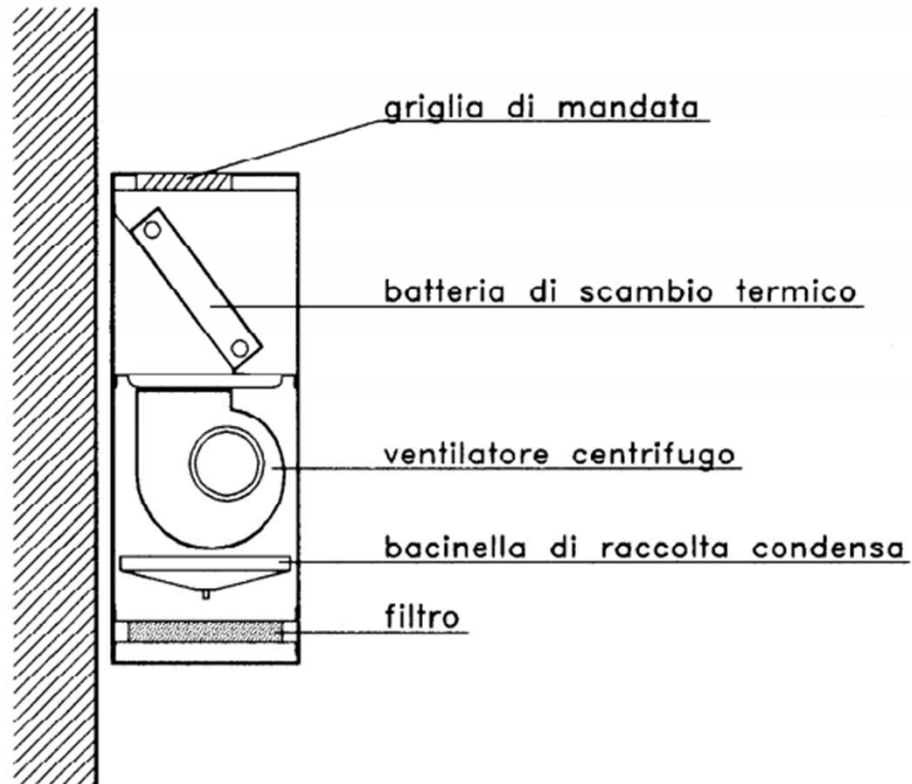
Scambio latente estivo

## Filtro



# I terminali idronici

## Ventilconvettori



## Regolazione potenza:

- Variazione portata aria (gradini o inverter)
- Variazione portata acqua (poco efficace)
- Variazione temperatura acqua di alimentazione (deumidificazione)

$\Delta T$  bassi (<10 K) tra ingresso e uscita acqua: elevate portate d'acqua





# I terminali idronici

## Ventilconvettori

Circuito a portata variabile



Ventilatore è regolato in base alla temperatura ambiente

Può essere spento se l'acqua arriva troppo fredda

Se non si interrompe il flusso d'acqua nella batteria:

- si ha un bypass tra mandata e ritorno
- Emissione termica non nulla della batteria (circ. naturale)



# I terminali idronici

## Ventilconvettori

Circuito a portata costante



Ventilatore è regolato in base alla temperatura ambiente

Può essere spento se l'acqua arriva troppo fredda

Se uso una valvola a tre vie il circuito di alimentazione rimane a portata costante



# I terminali idronici

## Ventilconvettori ibridi

### Il trend attuale

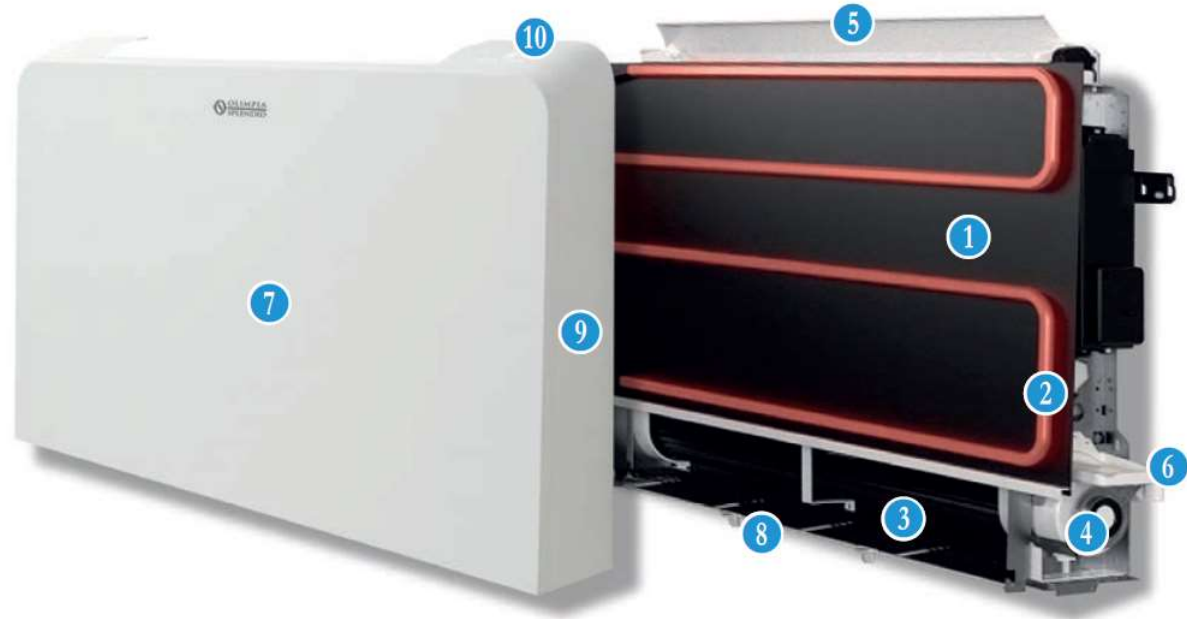
- Abbinamento a pompe di calore (bassa temperatura di mandata). Capacità di funzionamento reversibile (inverno/estate) e del controllo dell'umidità in estate
- Sovradimensionamento delle batterie di scambio in modo da avere una resa statica compatibile con le dispersioni a regime dei locali
- Utilizzo della ventola per ridurre i tempi della messa a regime (funz. Intermittente)
- Riduzione dello spessore (12 cm) per limitare l'occupazione degli spazi interni
- Ventilatori tangenziali per la generazione di flussi uniformi lungo l'intera lunghezza
- Riduzione del rumore utilizzando inverter per una modulazione fine della portata d'aria
- Utilizzo microventole per muovere l'aria in prossimità del setpoint
- Utilizzo dello scambio radiante per aiutare l'emissione del calore a ventola spenta



# I terminali idronici

## Ventilconvettori ibridi

HOME OF CO



Oltre alla batteria alettata viene utilizzata la superficie frontale del pannello di copertura come «pannello radiante a parete»

Esistono due tipologie:

A tubo radiante

A microventole

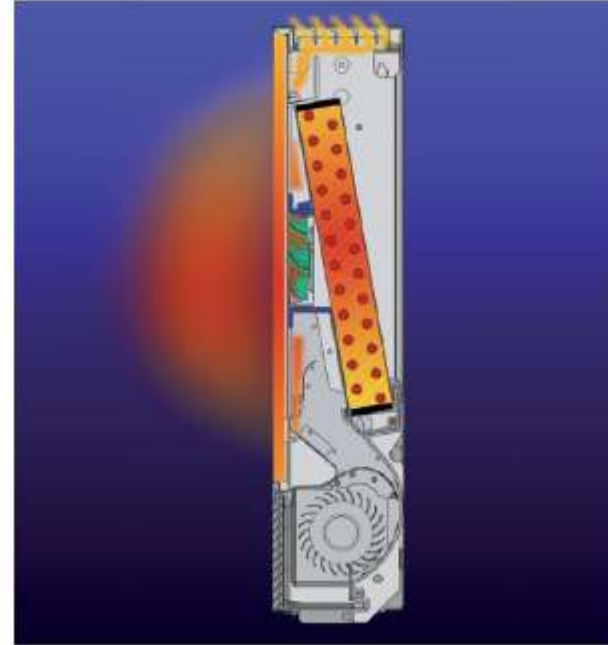
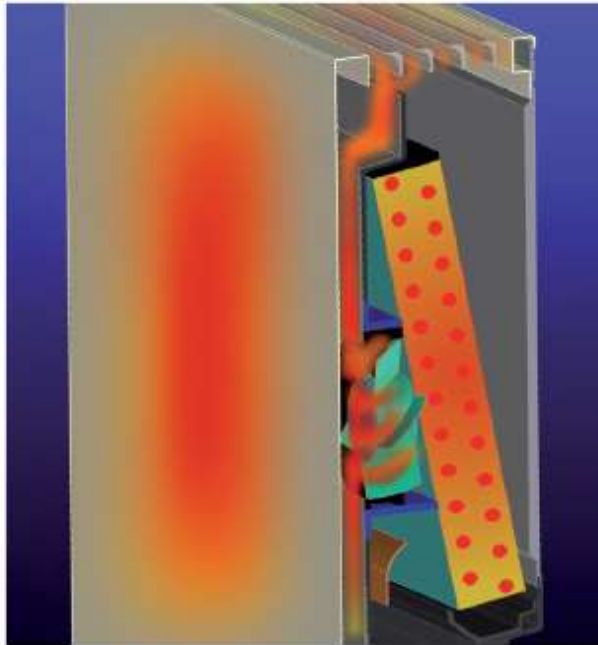


ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# I terminali idronici

**Ventilconvettori ibridi**

A microventole



Quando si raggiunge la temperatura ambiente di setpoint il ventilatore riduce il numero di giri fino a fermarsi. Entrano in azione delle microventole che deviano l'aria calda in uscita dallo scambiatore verso il pannello anteriore riscaldandolo.

Il pannello emette calore per irraggiamento.

La batteria emette calore per convezione naturale.



# I terminali idronici

## Ventilconvettori ibridi

Modello		11	21	33
Resa totale in raffreddamento (a)	W	1095	2120	3310
Resa sensibile in raffreddamento	W	855	1610	2595
Portata acqua	l/h	188	365	569
Perdita di carico acqua	kPa	8,3	9,2	25,2
Resa in riscaldamento con 50°C ingresso acqua (b)	W	1515	2885	4140
Portata acqua (50 °C ingresso acqua)	l/h	188	365	569
Perdita di carico acqua (50 °C ingresso acqua)	kPa	6,6	8,3	22,7
Resa in riscaldamento senza ventilazione (50 °C)	W	320	380	460
Resa in riscaldamento con 70°C ingresso acqua (c)	W	2590	4855	7035
Portata acqua (70 °C ΔT 10)	l/h	223	418	605
Perdita di carico acqua (70 °C ΔT 10)	kPa	7,2	8,8	23,4
Resa in riscaldamento senza ventilazione (70 °C ΔT 10)	W	540	670	780

**Resa «statica» (senza ventilazione) = 1/5 – 1/10 resa nominale**

Es: 1515 W (resa T=50°C) → 320 W (resa statica T=50°C)

2590 W (resa T=70°C) → 540 W (resa statica T=70°C)



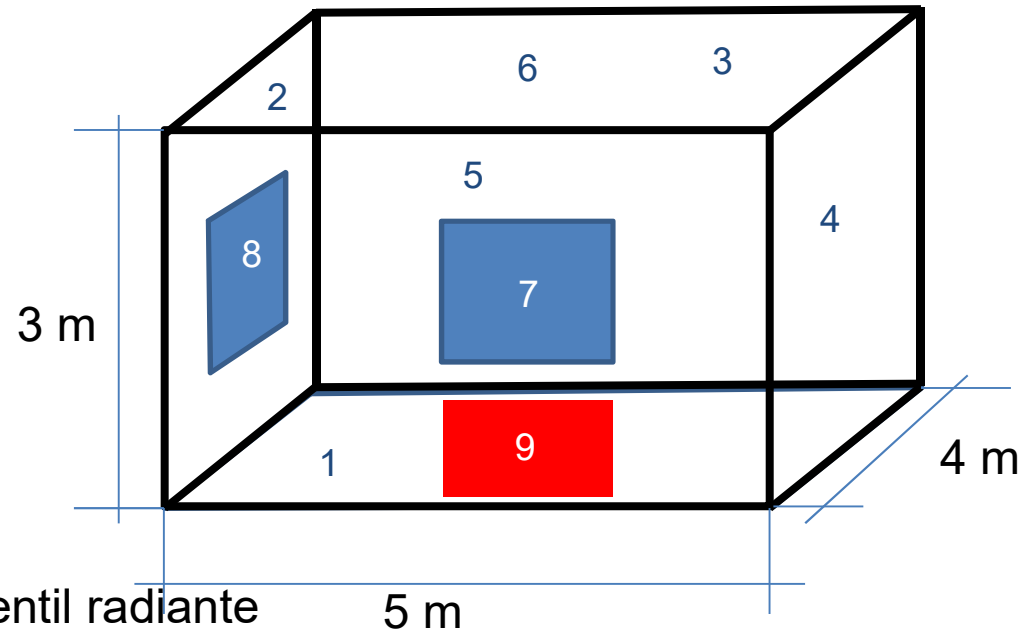
# I terminali idronici

$$q_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{S_{att}} = \sigma_0 e_{att} (T_p^4 - T_{mri}^4)$$

Valutazione valore massimo  $q_{rad}$

$e_{att}=1, T_p=50^\circ\text{C}$

Caso 3: Pareti e finestre «calde» con ventil radiante



Superficie		stato	Temperatura [°C]	Area [m <sup>2</sup> ]
1	pavimento	Inattivo	20	19
2	Par. ext.	Inattivo	18.5	9.5
3	Par. int.	Inattivo	20	15
4	Par. int.	Inattivo	20	12
5	Par. ext.	Inattivo	18.5	13
6	soffitto	Inattivo	20	20
7	finestra	inattivo	18	2
8	finestra	inattivo	18	2
9	ventil	attivo	50	0.5

$$T_{mri} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j T_j}{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j} = 19.5^\circ\text{C}$$

$$q_{rad,max} = 202 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

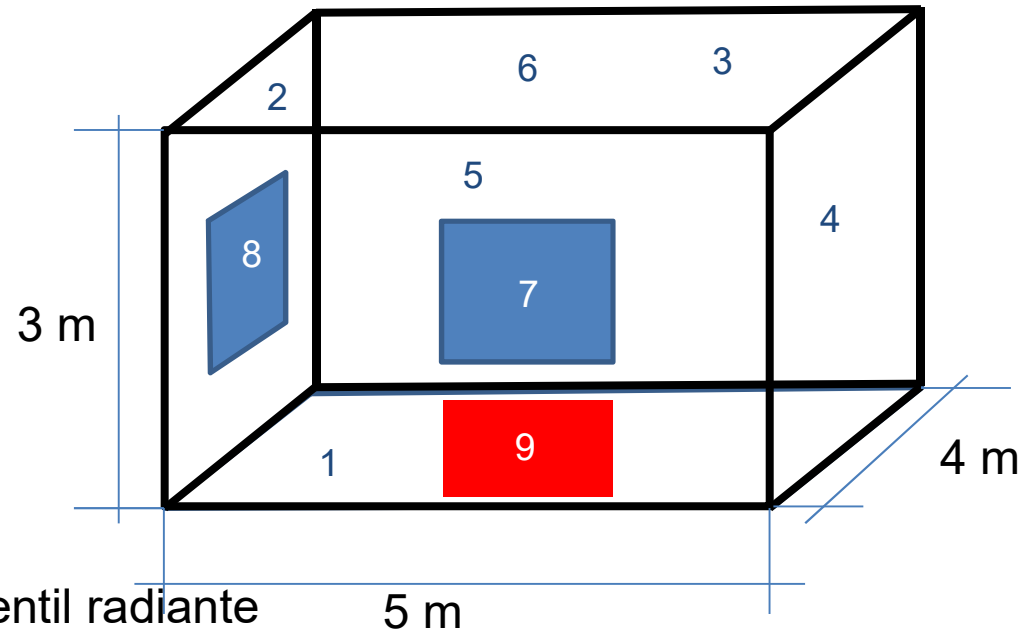
# I terminali idronici

$$q_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{S_{att}} = \sigma_0 e_{att} (T_p^4 - T_{mri}^4)$$

Valutazione valore massimo  $q_{rad}$

$e_{att}=1, T_p=70^\circ\text{C}$

Caso 3: Pareti e finestre «calde» con ventil radiante



Superficie		stato	Temperatura [°C]	Area [m <sup>2</sup> ]
1	pavimento	Inattivo	20	19
2	Par. ext.	Inattivo	18.5	9.5
3	Par. int.	Inattivo	20	15
4	Par. int.	Inattivo	20	12
5	Par. ext.	Inattivo	18.5	13
6	soffitto	Inattivo	20	20
7	finestra	inattivo	18	2
8	finestra	inattivo	18	2
9	ventil	attivo	70	0.5

$$T_{mri} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j T_j}{\sum_{j=1}^{N_{in}} S_j} = 19.5^\circ\text{C}$$

$$q_{rad, \max} = 370 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$



# I terminali idronici

## Ventilconvettori ibridi

Modello		11	21	33
Resa totale in raffreddamento (a)	W	1095	2120	3310
Resa sensibile in raffreddamento	W	855	1610	2595
Portata acqua	l/h	188	365	569
Perdita di carico acqua	kPa	8,3	9,2	25,2
Resa in riscaldamento con 50°C ingresso acqua (b)	W	1515	2885	4140
Portata acqua (50 °C ingresso acqua)	l/h	188	365	569
Perdita di carico acqua (50 °C ingresso acqua)	kPa	6,6	8,3	22,7
Resa in riscaldamento senza ventilazione (50 °C)	W	320	380	460
Resa in riscaldamento con 70°C ingresso acqua (c)	W	2590	4855	7035
Portata acqua (70 °C $\Delta T$ 10)	l/h	223	418	605
Perdita di carico acqua (70 °C $\Delta T$ 10)	kPa	7,2	8,8	23,4
Resa in riscaldamento senza ventilazione (70 °C $\Delta T$ 10)	W	540	670	780

**Resa «statica» (senza ventilazione) = 1/5 -1/10 resa nominale**

Es: 1515 W (resa T=50°C) → 320 W (resa statica T=50°C) → **101 W radiativi (30-10%)**

2590 W (resa T=70°C) → 540 W (resa statica T=70°C) → **185 W radiativi (30-10%)**

**Il contributo radiante non varia con la potenza del ventilconvettore:**

**Emissività pannello frontale < 1**

**$T_p < T$  mandata acqua**

**$Q < 70-120$  W**



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# I terminali idronici

## Cosa è richiesto ai terminali di nuova generazione

- Funzionare a bassa (alta in estate) temperatura dell'acqua di mandata
- Reversibilità (inverno/estate)
- Silenziosità (ridotto movimento aria)
- Dimensioni ridotte
- Bassa inerzia termica (compatibile con funzionamento intermittente)
- Utilizzo della ridotta extra-potenza dei nuovi generatori (PdC) nelle fasi di ripresa
- Connessione con l'utente (smartphone)
- Contabilizzatore integrato





ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

**Gian Luca Morini, Stefano Cancellara, Matteo  
Dongellini, Matteo Greppi**

DIN – Alma Mater Studiorum Università di Bologna  
CIRI Edilizia & Costruzioni

[gianluca.morini3@unibo.it](mailto:gianluca.morini3@unibo.it)

[www.unibo.it](http://www.unibo.it)