

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Progetto



il futuro dei terminali idronici

Gian Luca Morini
Stefano Cancellara

Dipartimento di Ingegneria Industriale
CIRI Edilizia & Costruzioni

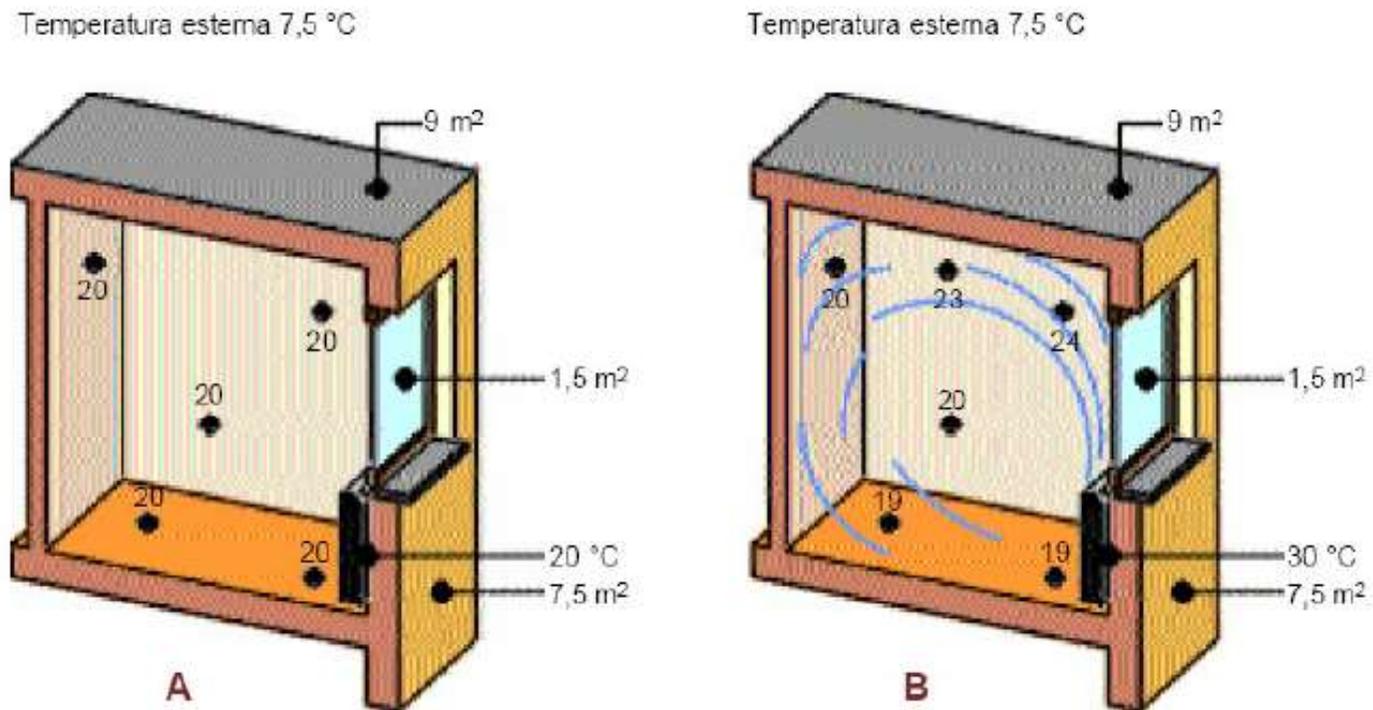
Contenuti

- 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

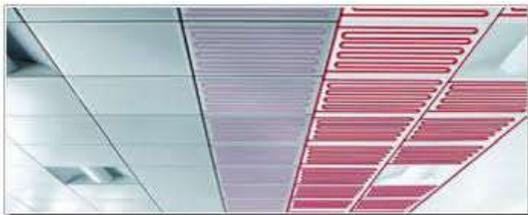
Il terminale è il principale componente del sottosistema di emissione di un impianto di condizionamento.



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

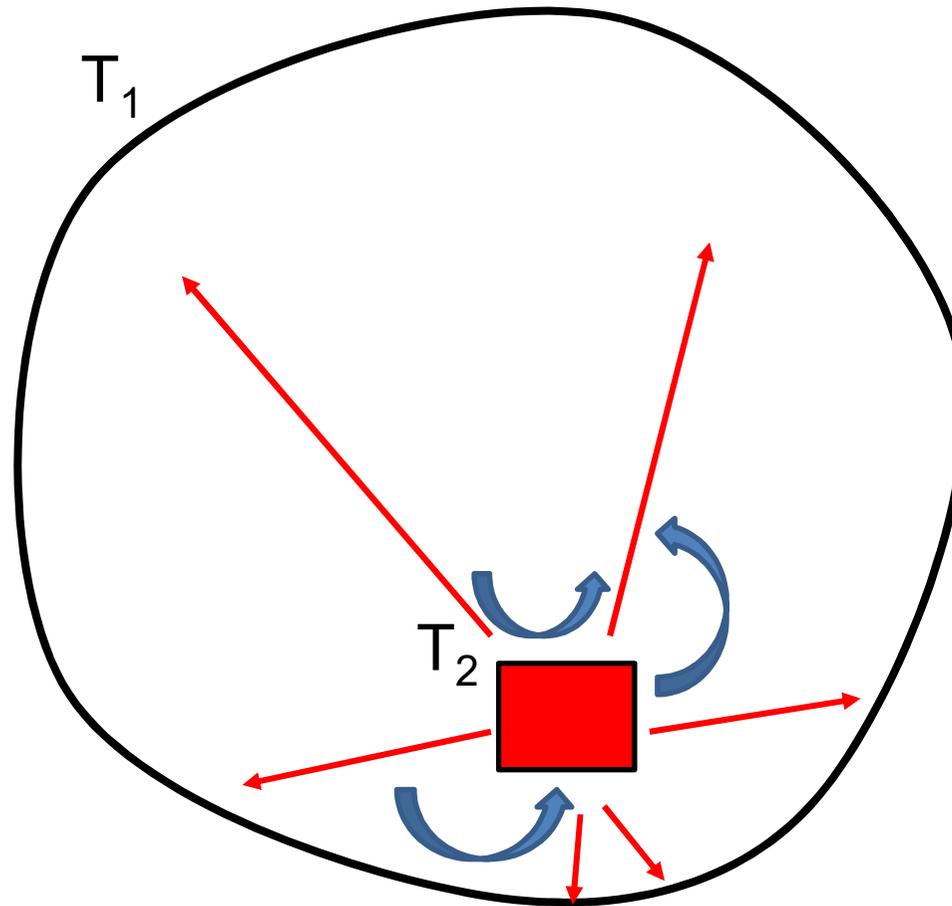
Vincoli ulteriori:

- 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

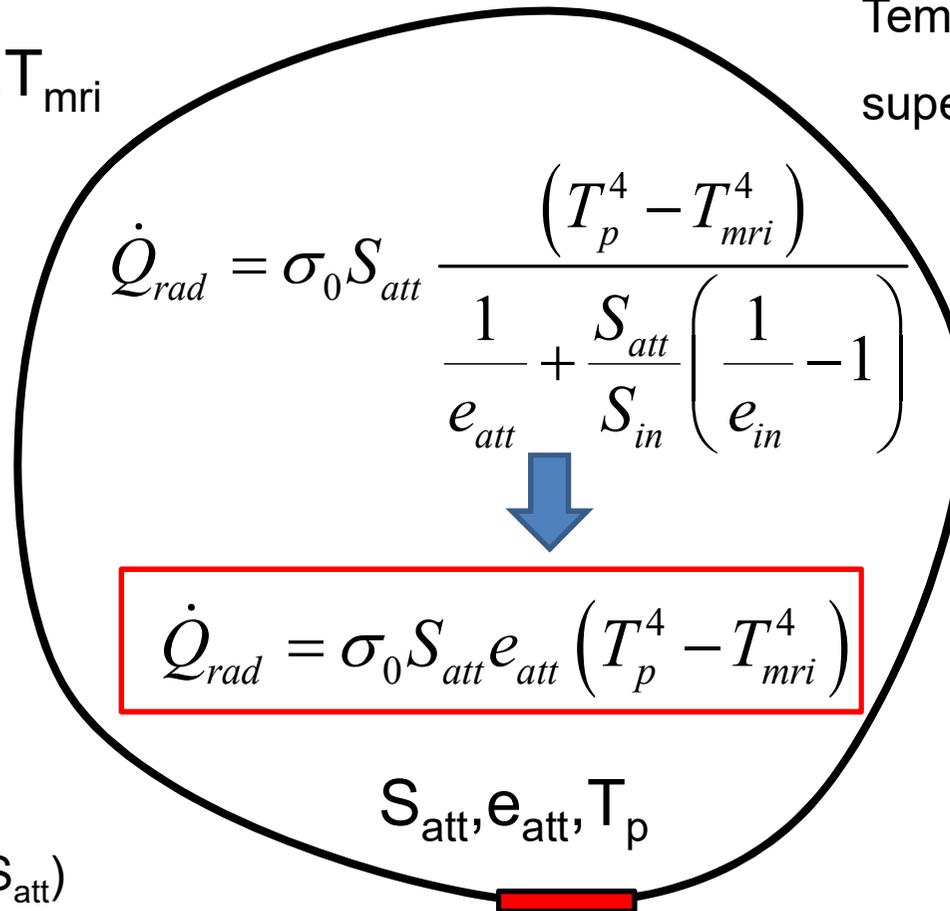
Terminali radianti o convettivi?

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})

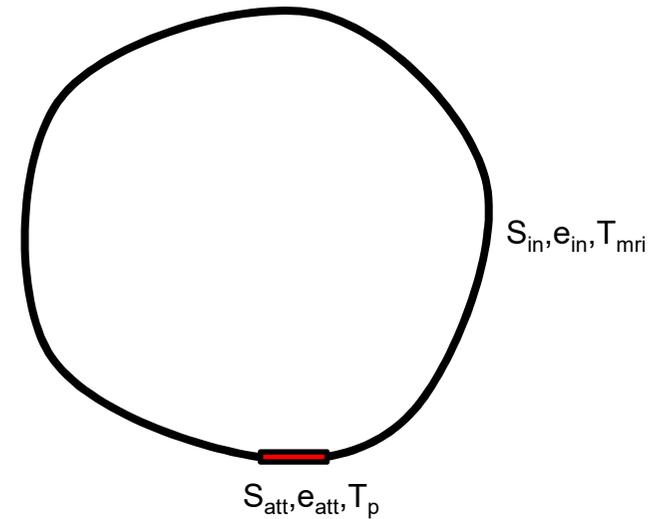


I terminali idronici

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

- 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:

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



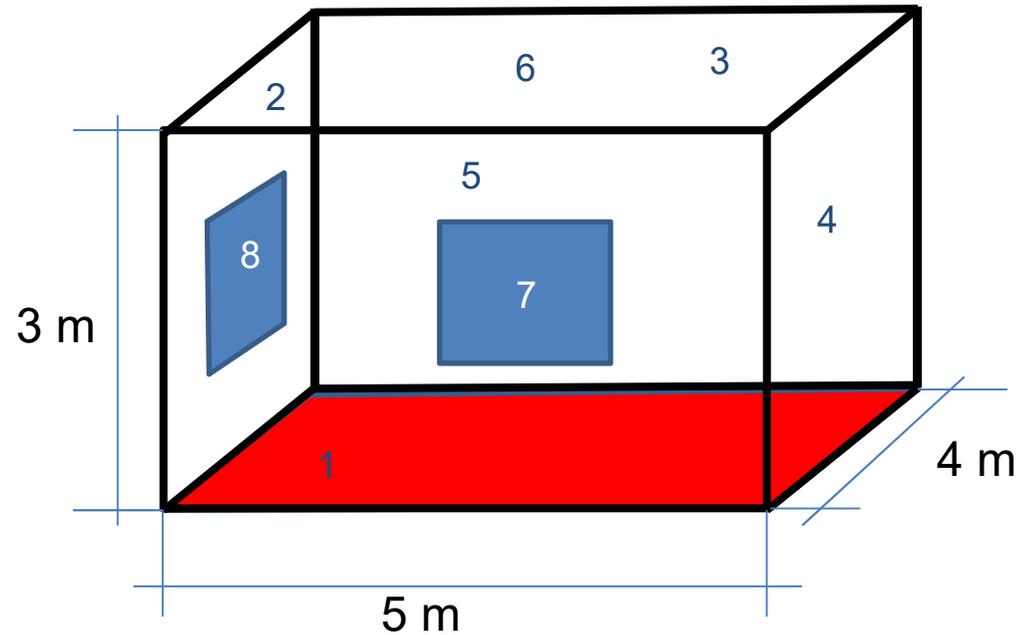
I terminali idronici

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

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 ²]
1	pavimento	Attivo	29	20
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

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

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

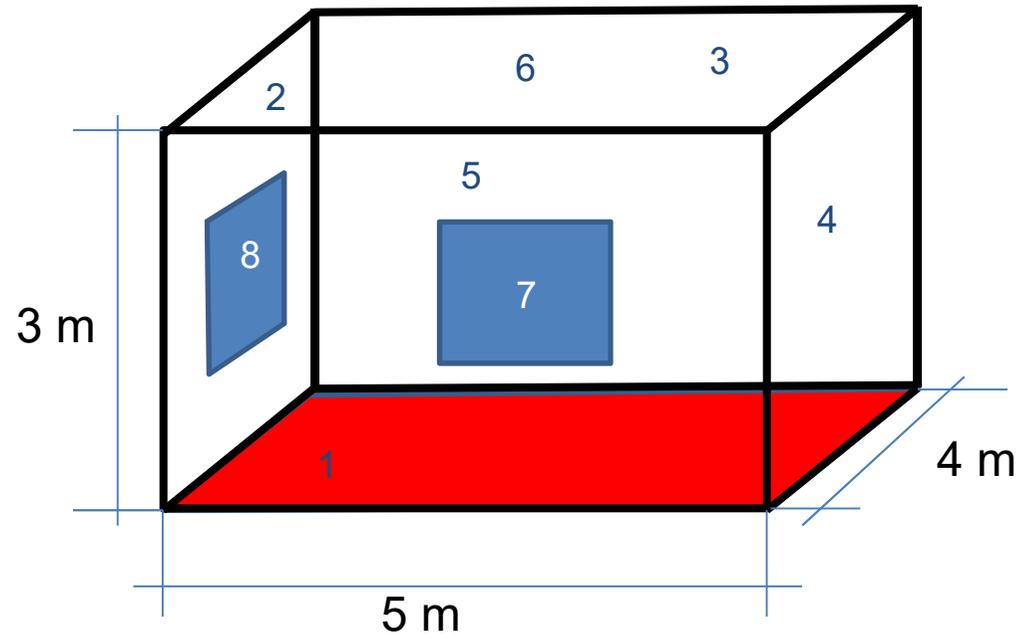
I terminali idronici

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

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 ²]
1	pavimento	Attivo	29	20
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

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

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

-10%

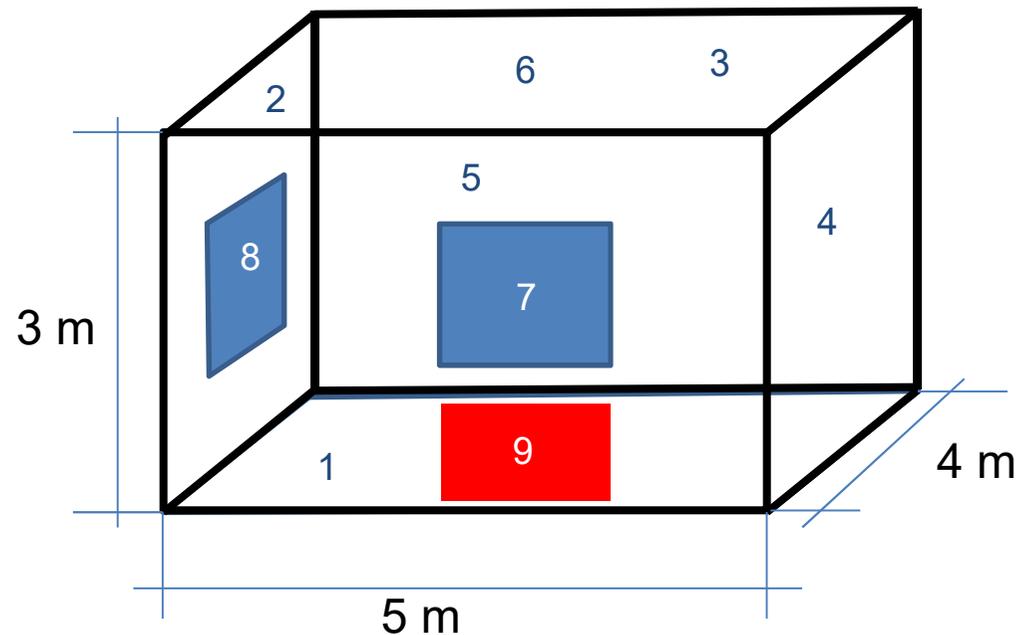
I terminali idronici

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

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 ²]
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

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

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

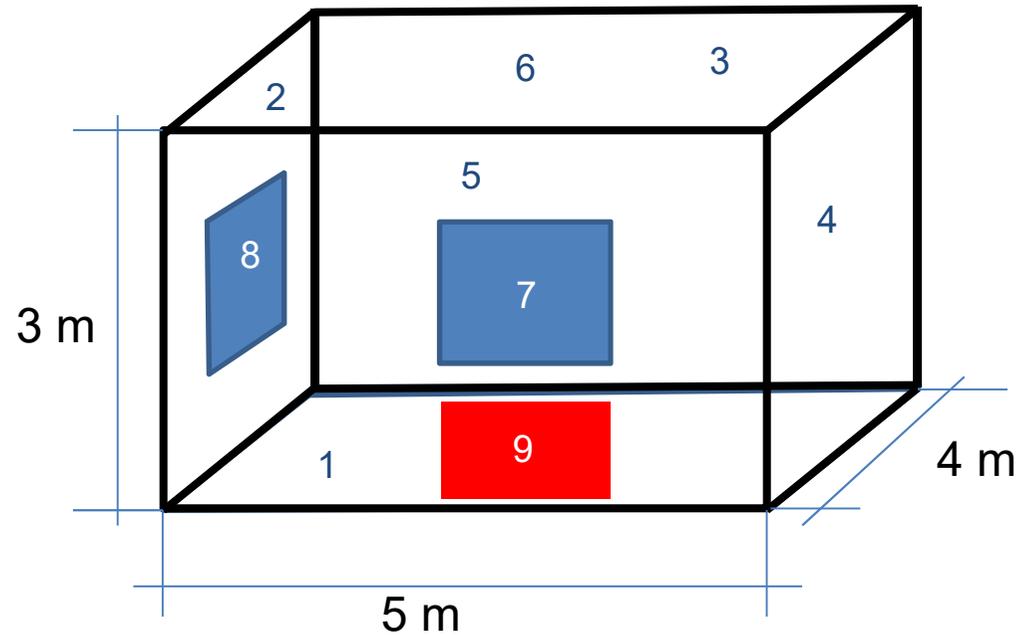
I terminali idronici

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

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 ²]
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%

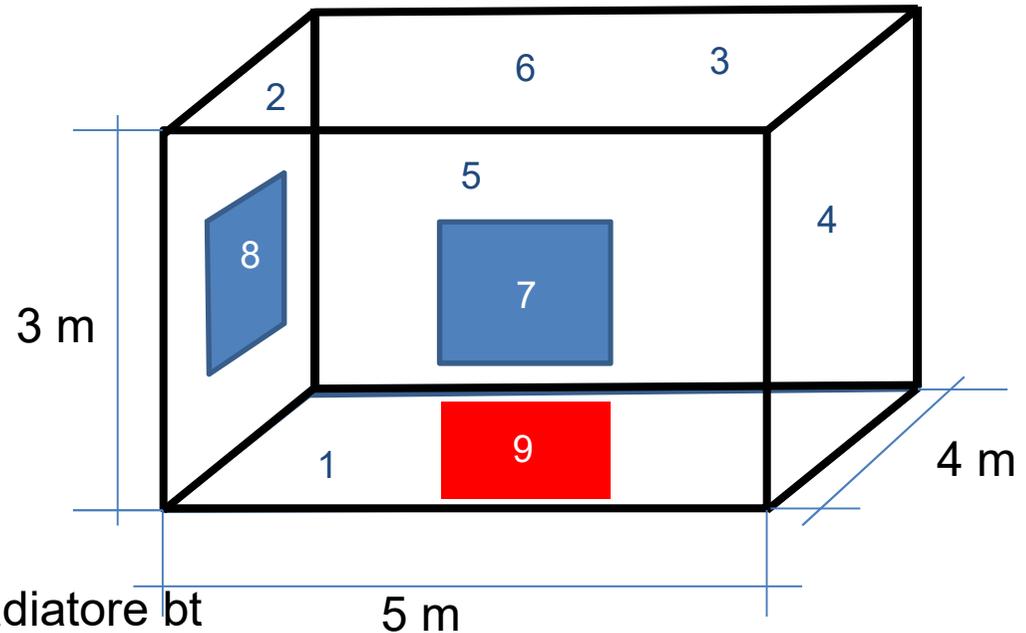
I terminali idronici

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

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 ²]
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	radiatore	attivo	45	1

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

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

-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]	Δ [%]	$T_p - T_a$ [K]	Q [W]	Δ [%]
50	1000	-	50	1000	-
40	732	-27	40	782	-22
30	489	-51	30	570	-43
20	277	-72	20	365	-64

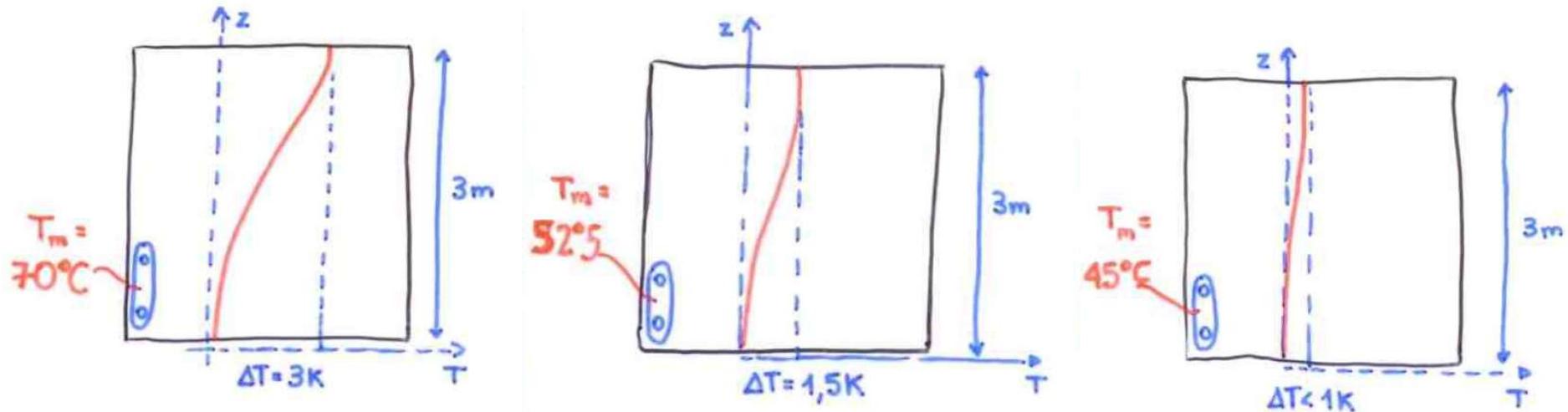
Se il valore di n è basso il radiatore è meno penalizzato (in termini di potenza emessa) se si riduce la temperatura media dell'acqua al suo interno.



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:

($\Delta T < 0.33$ 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)

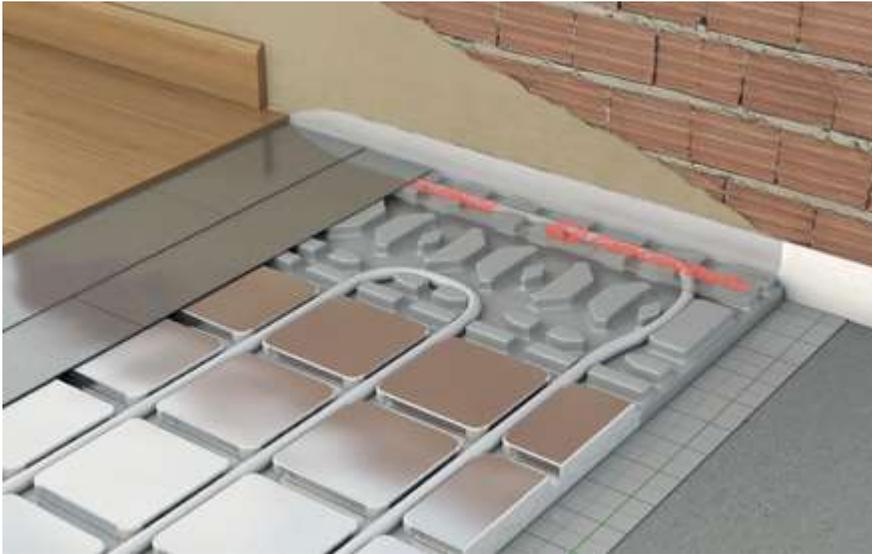
CONTRO

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

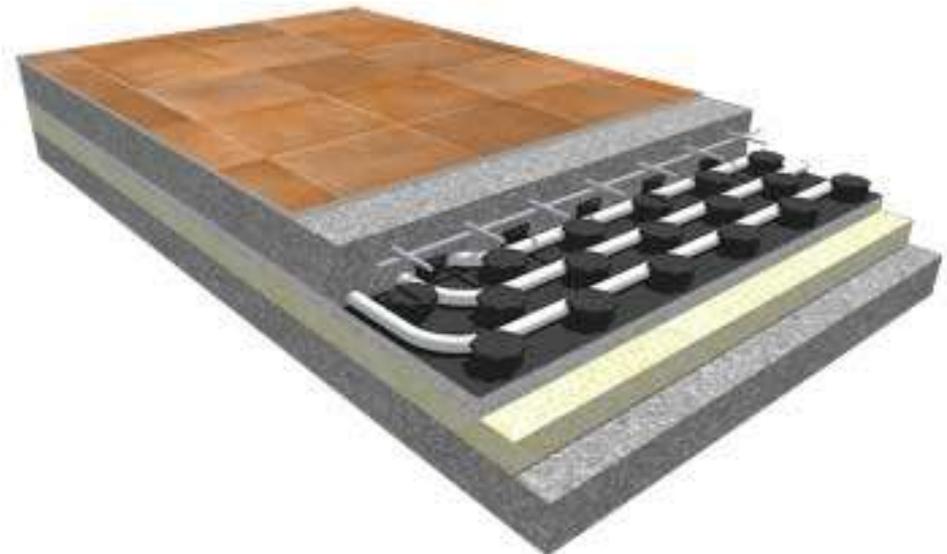


I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento



«bassa inerzia»



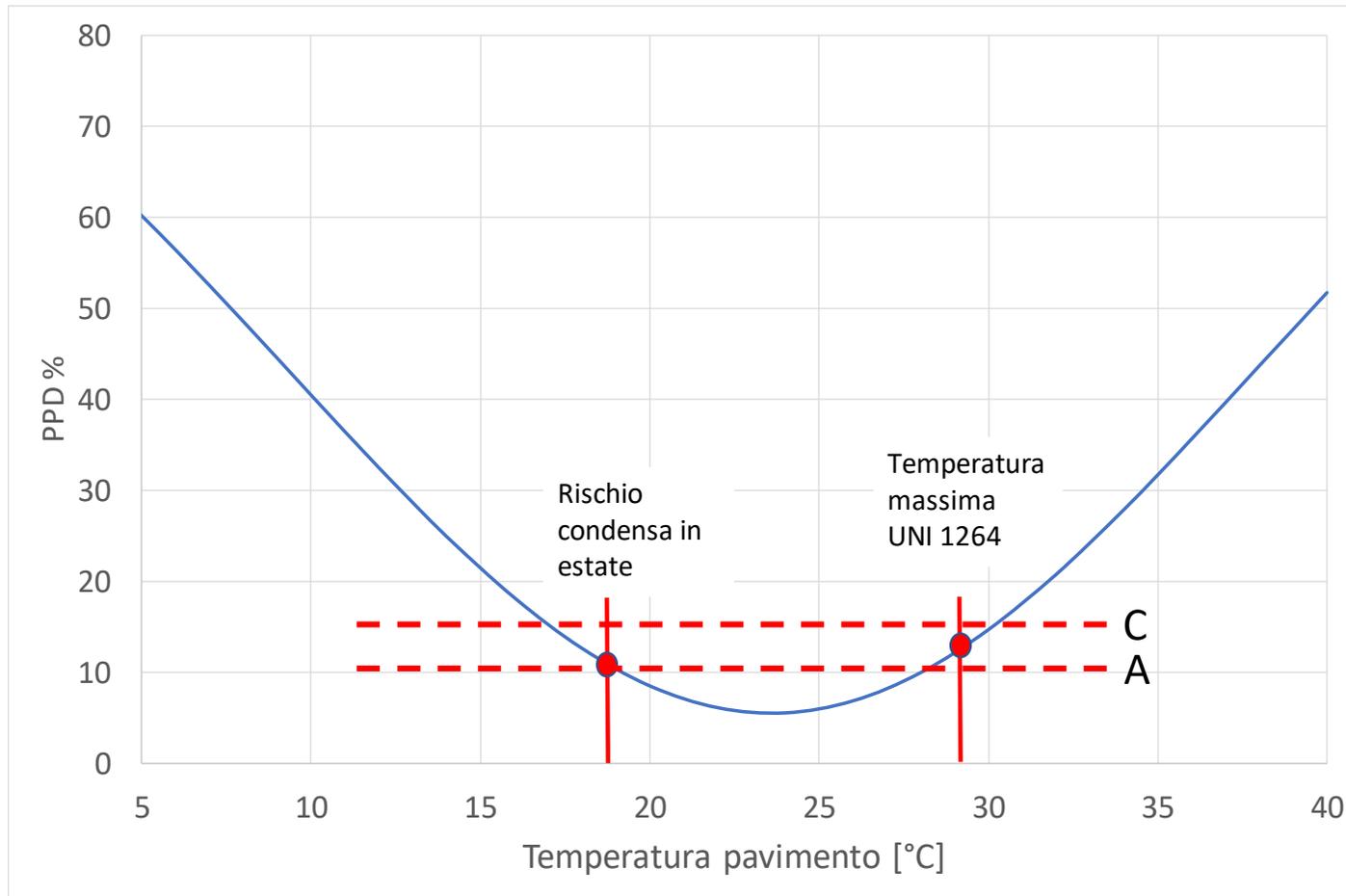
«alta inerzia»



I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

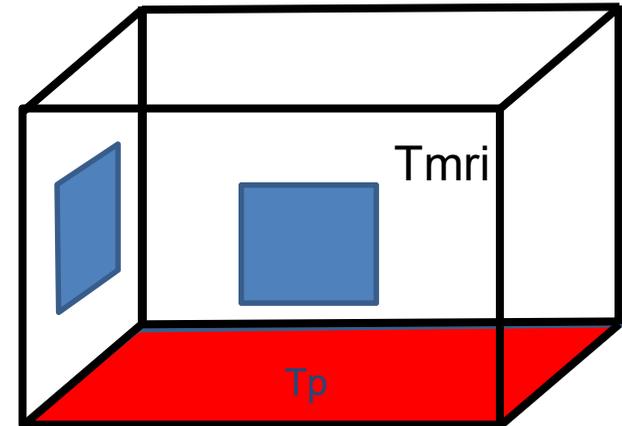
Temperatura del pavimento



I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

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



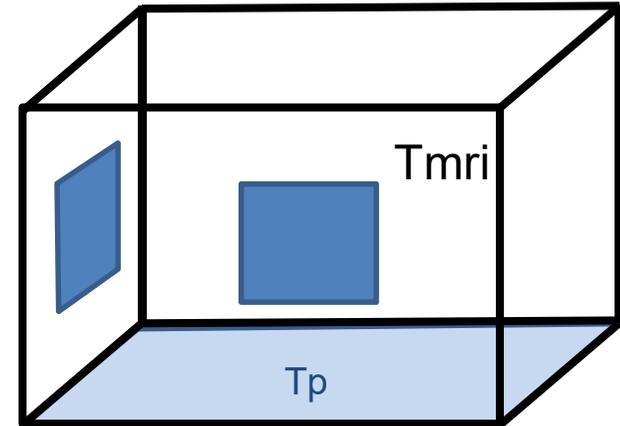
T_p [$^\circ\text{C}$]	T_{mri} [$^\circ\text{C}$]		
	16	18	20
20	100	100	-
21	82	73	48
22	73	65	48
23	68	60	48
24	65	58	48
25	62	57	48
26	61	55	49
27	59	55	49
28	58	54	49
29	58	54	49



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

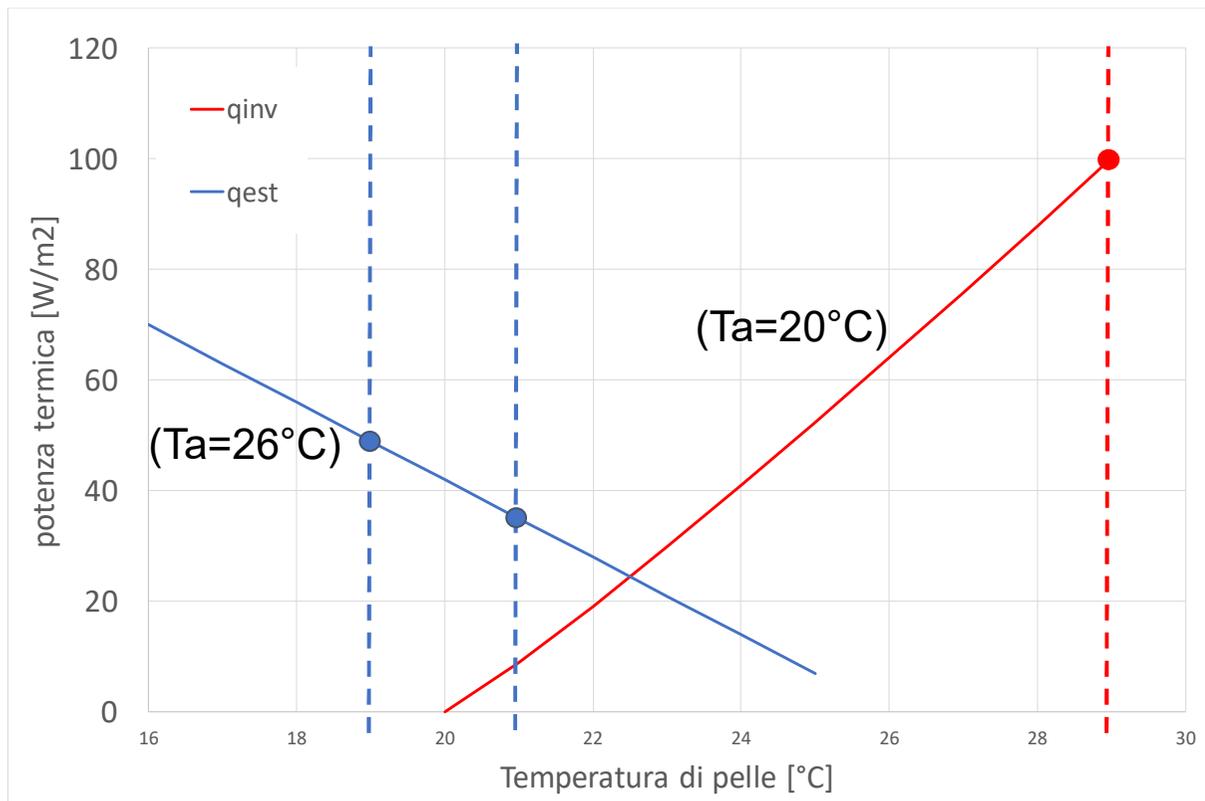


I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

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

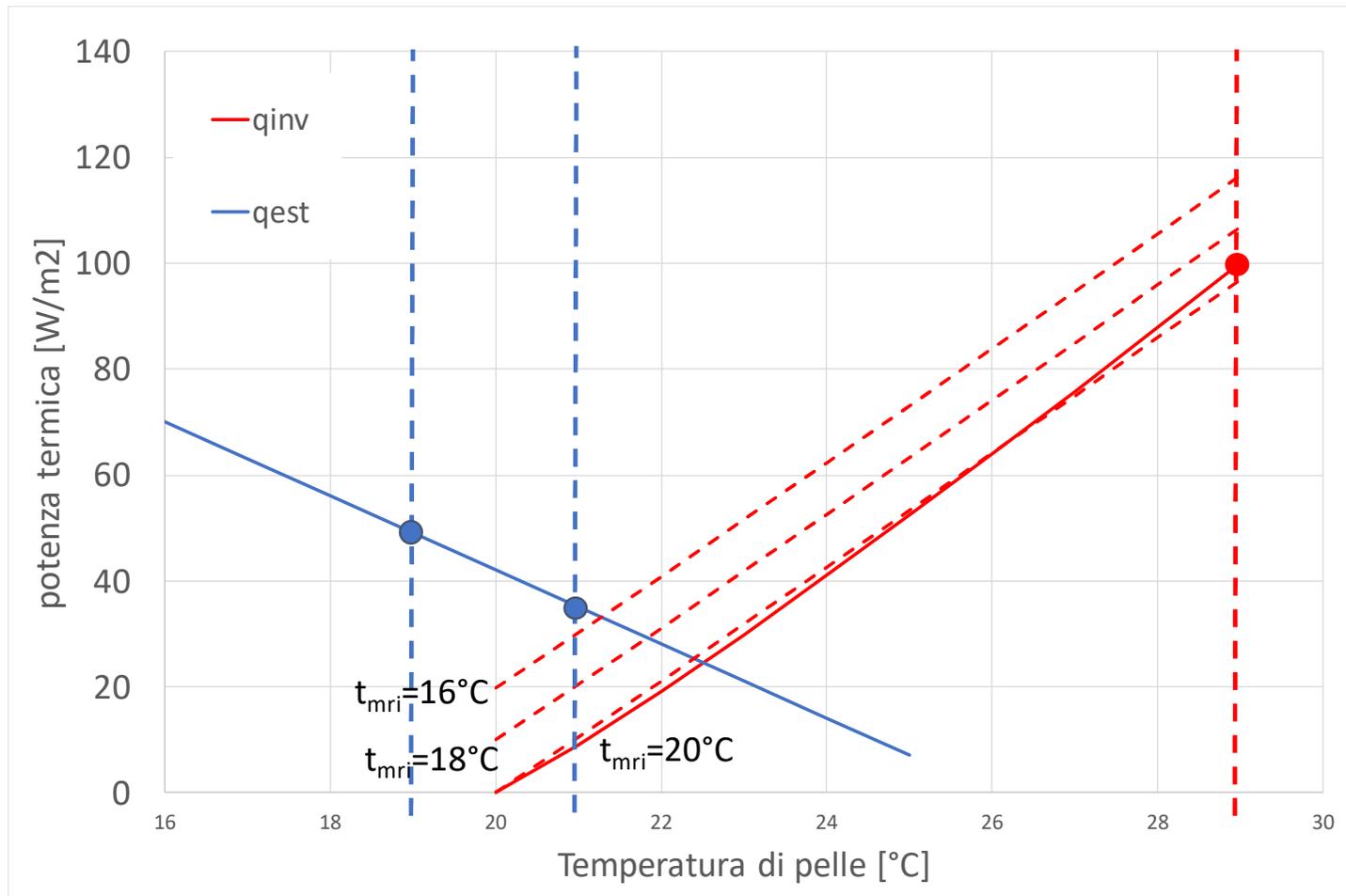
$$\dot{q}_{est} = K_{est} (T_a - T_p)^n = 7 (T_a - T_p) \left[\frac{W}{m^2} \right]$$



I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

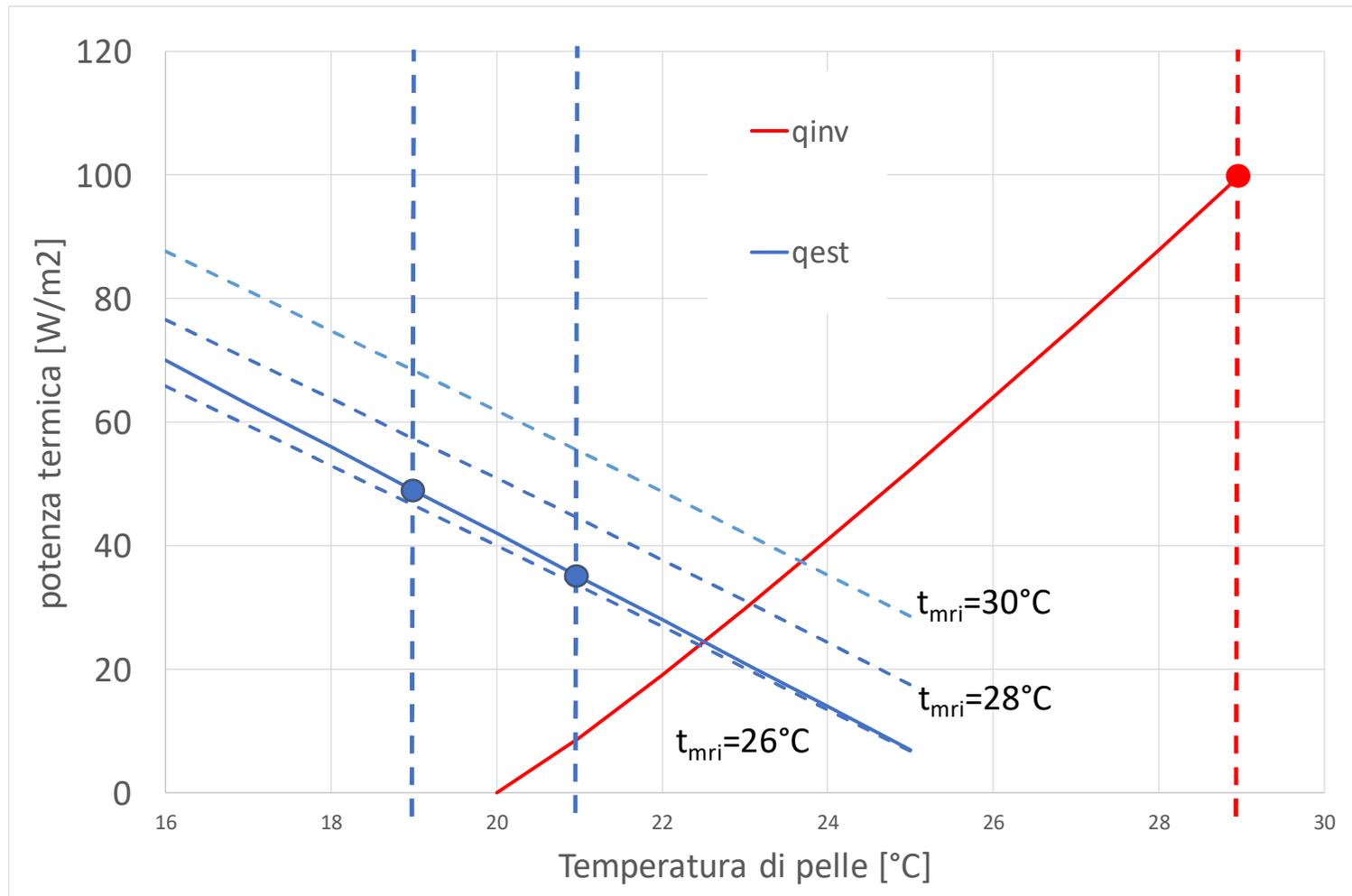
Influenza della temperatura delle pareti fredde (caso invernale):



I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

Influenza della temperatura delle pareti calde (caso estivo):

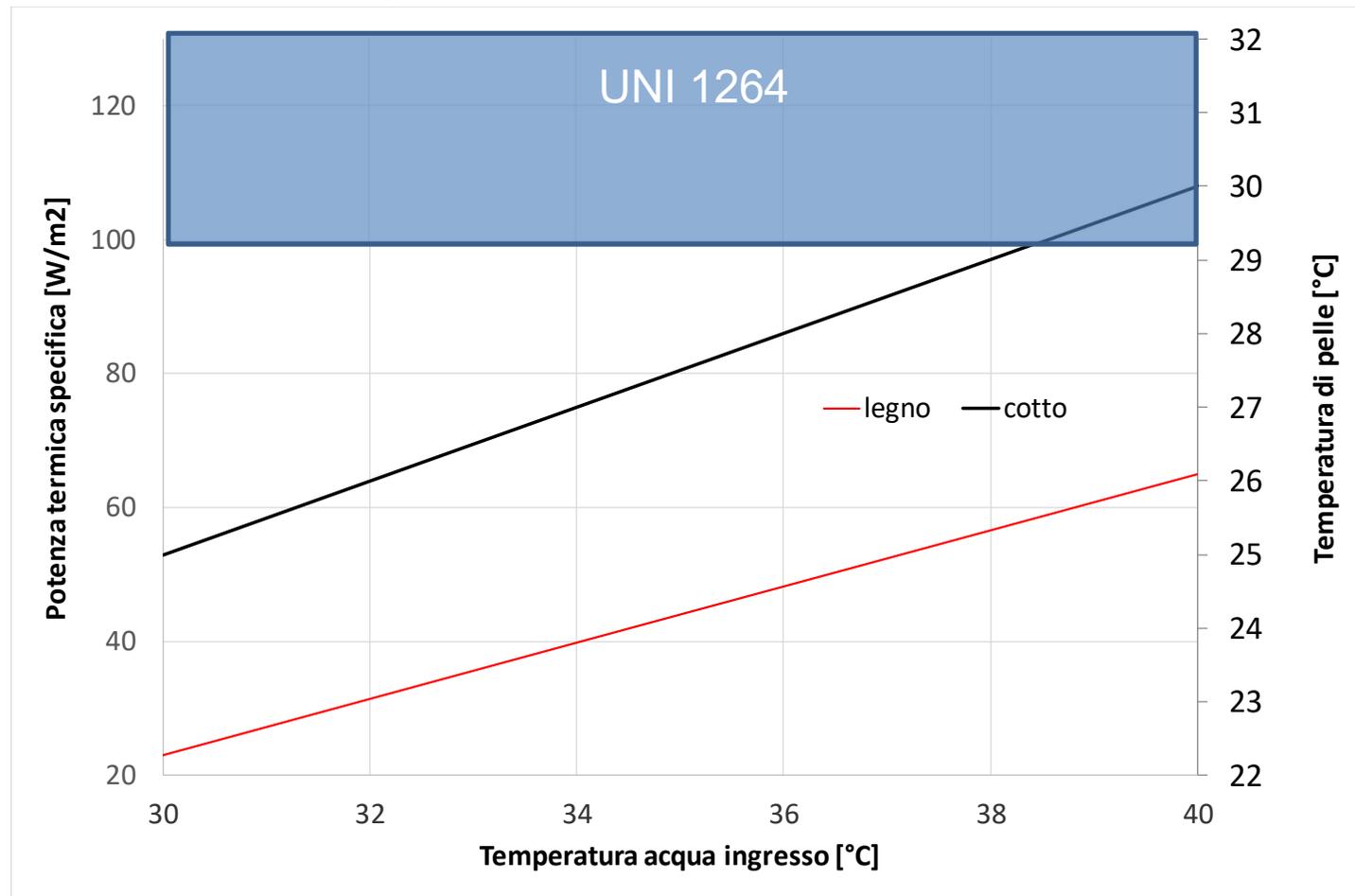


I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

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

4 cm di massetto; passo 10 cm:

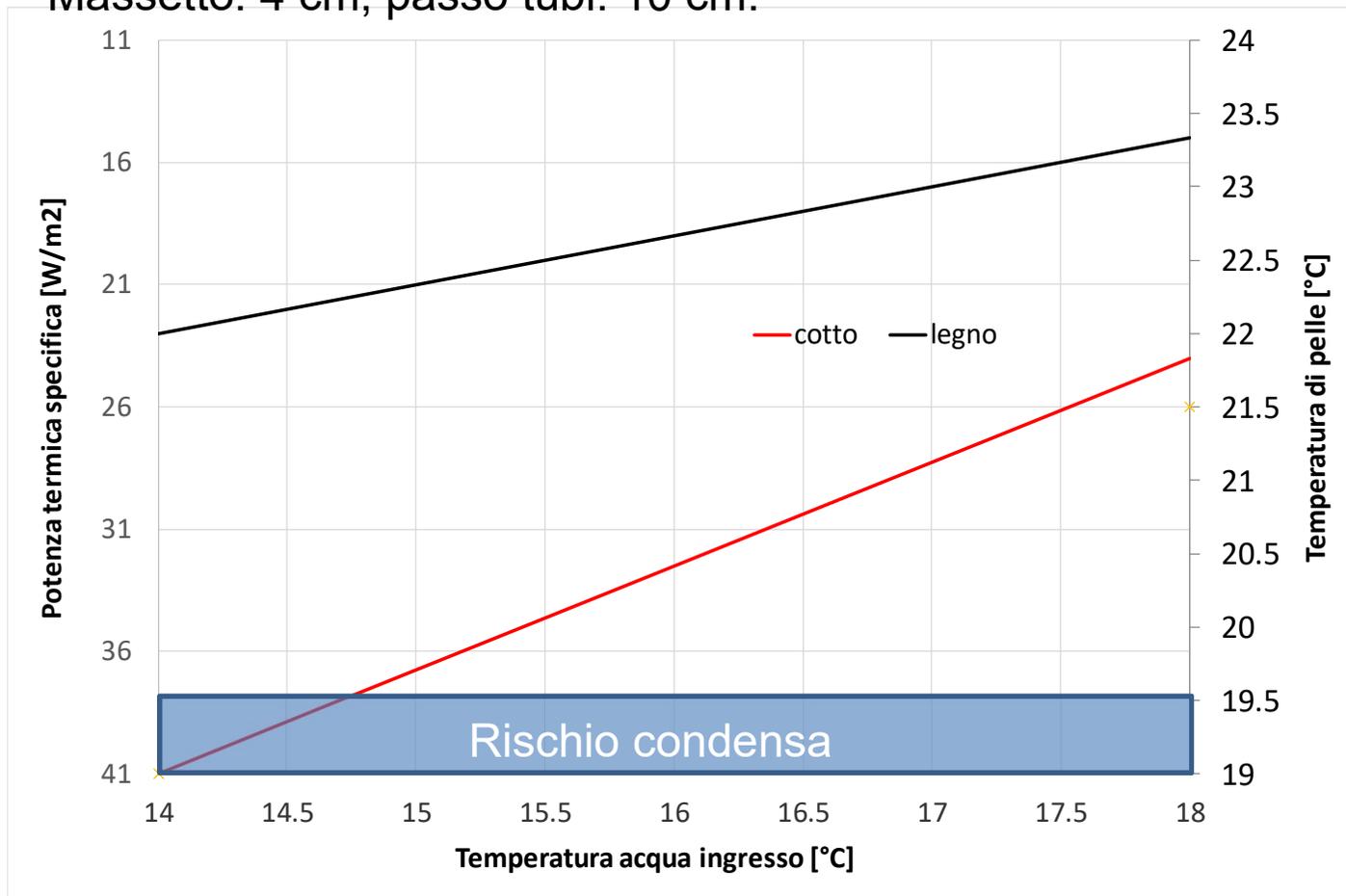


I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

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

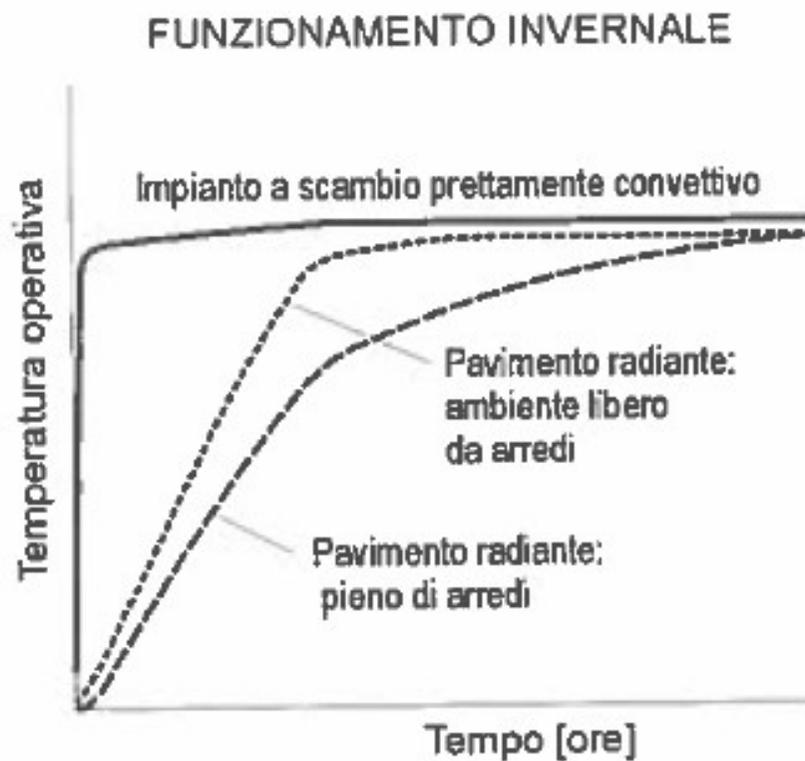
Massetto: 4 cm; passo tubi: 10 cm:



I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

Ruolo dell'arredo

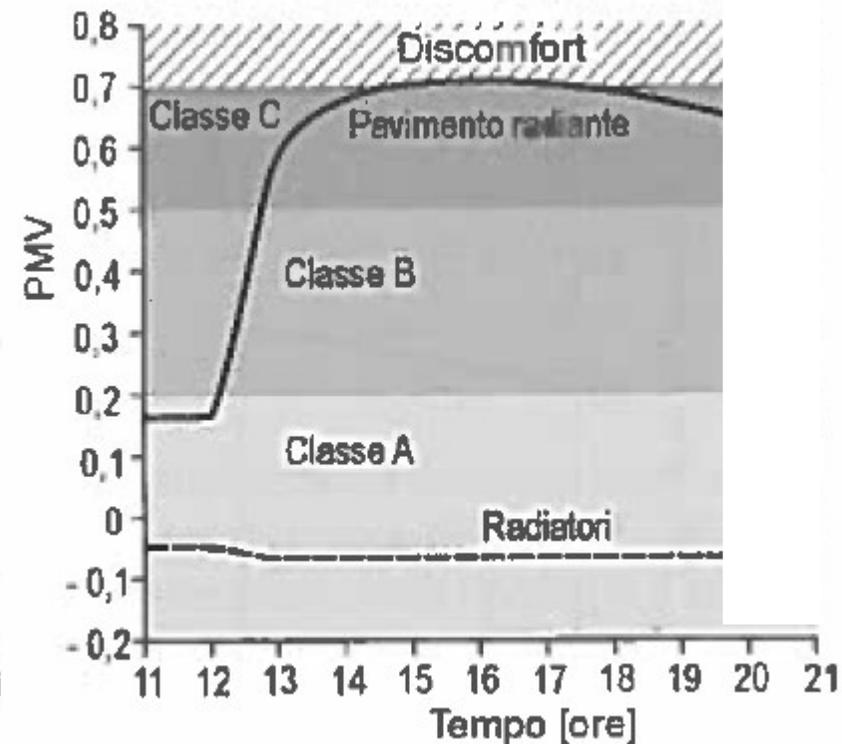
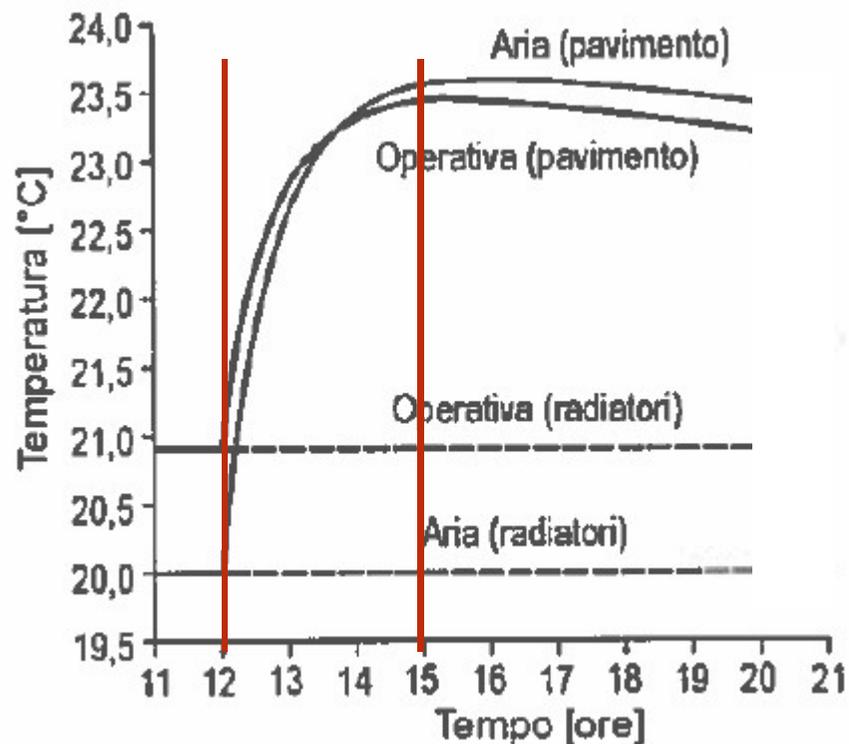


I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

Tempi di reazione

Cucina in cui alle 12.00 i carichi endogeni annullano le dispersioni

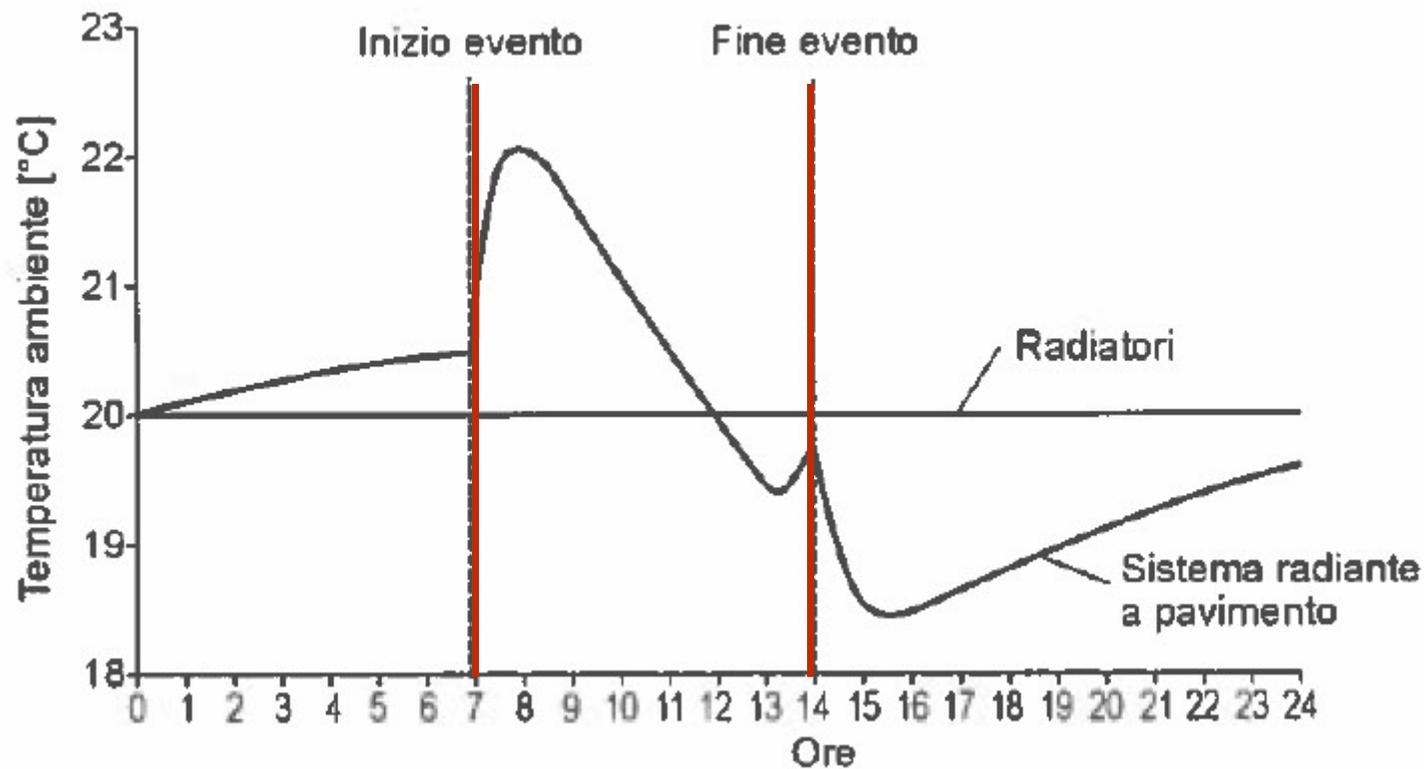


I terminali idronici

Pannelli radianti a pavimento

Tempi di reazione

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

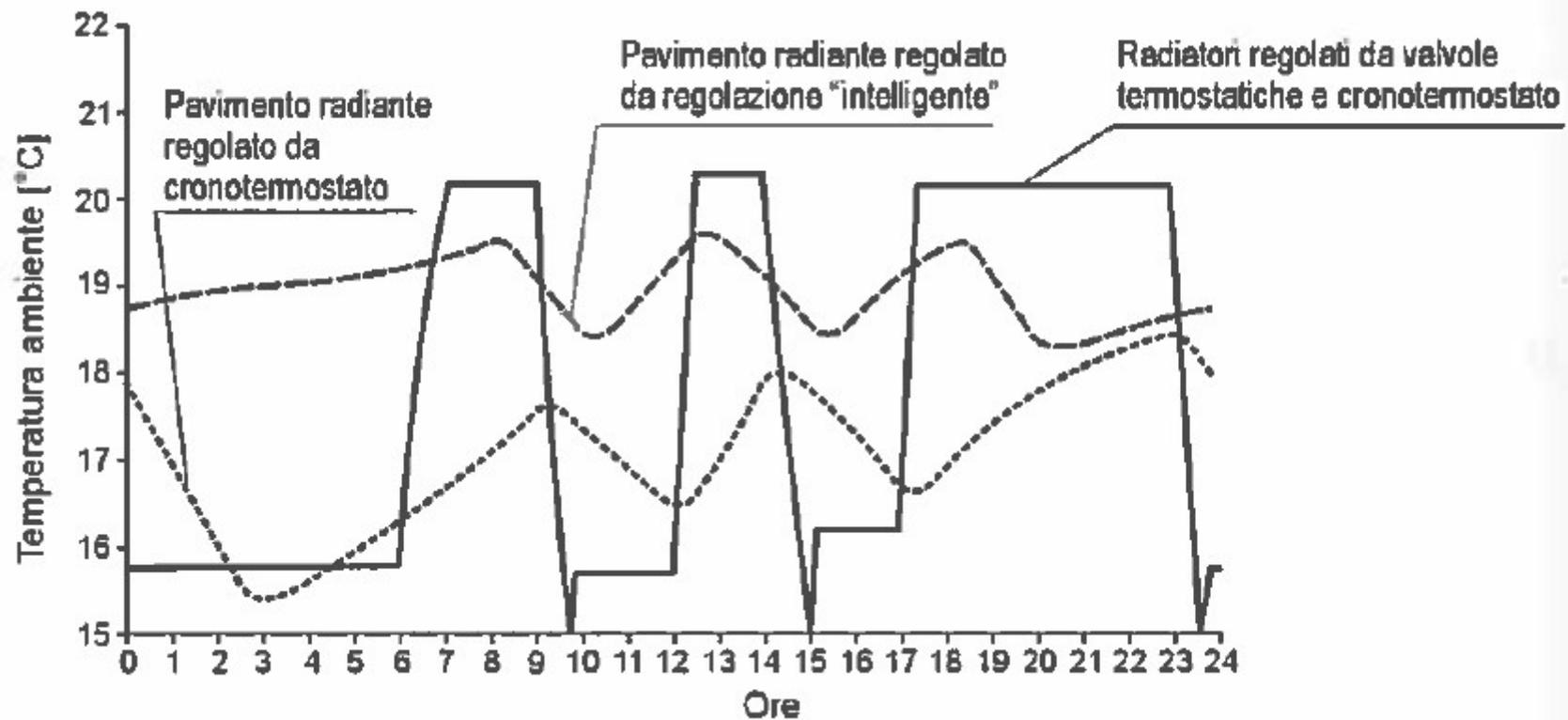


I terminali idronici

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)



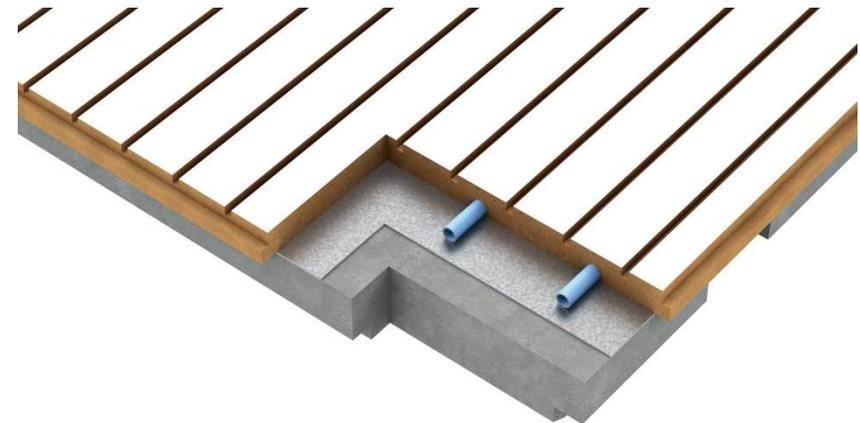
I terminali idronici

Pannelli radianti a soffitto

«pannelli di cartongesso»



«pannelli in MDF»



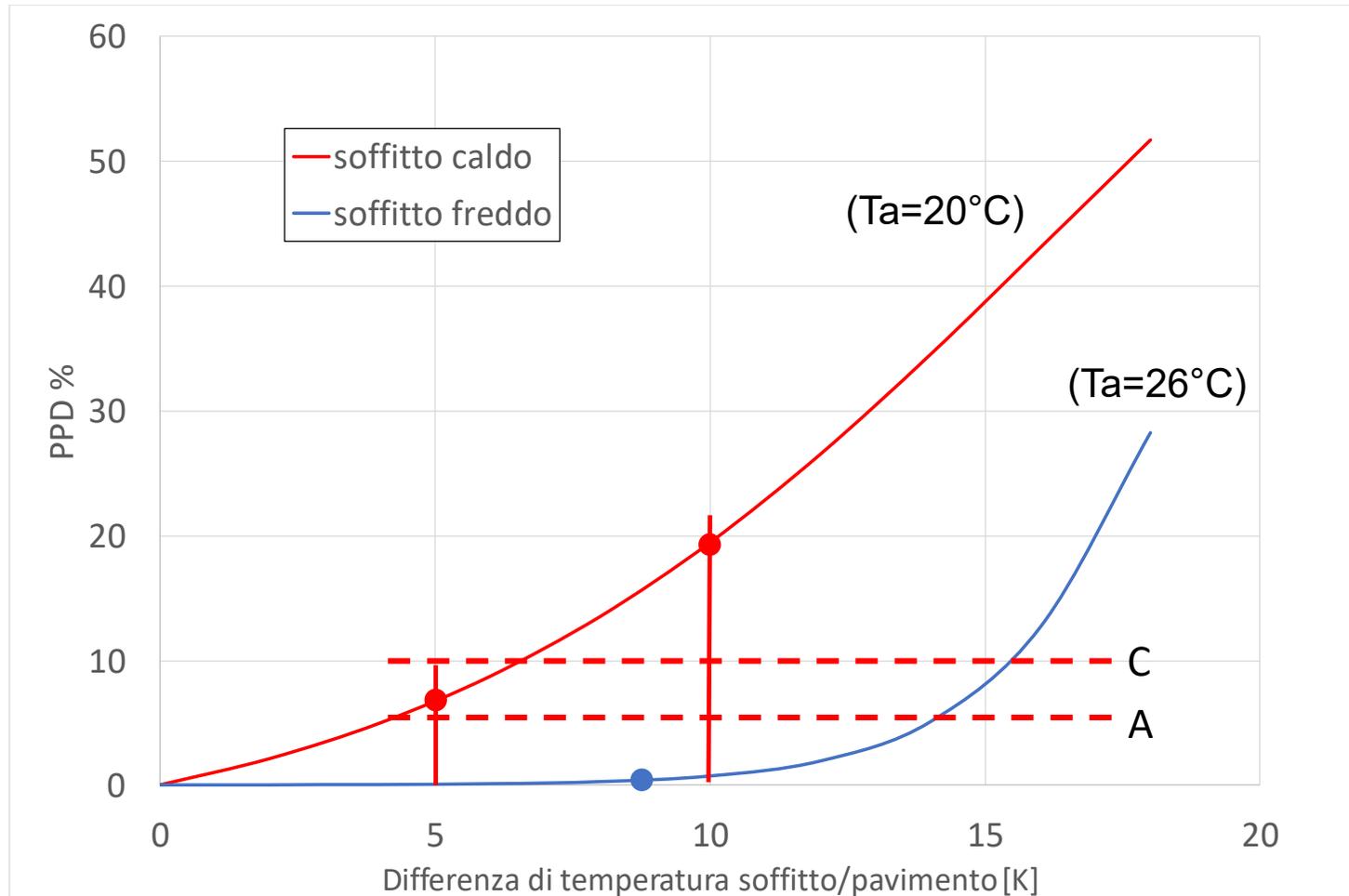
«pannelli in metallo forato»



I terminali idronici

Pannelli radianti a soffitto

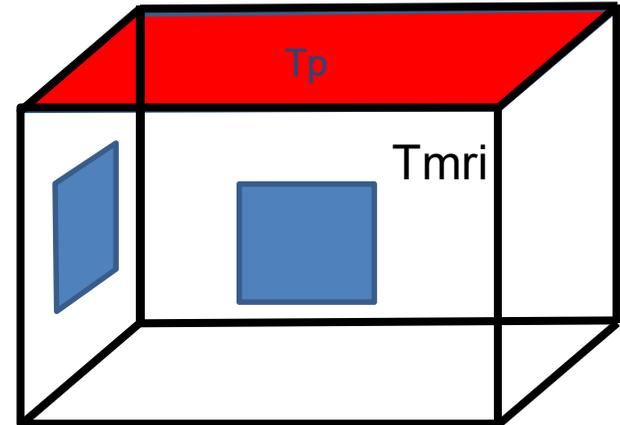
Asimmetria radiante



I terminali idronici

Pannelli radianti a soffitto

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



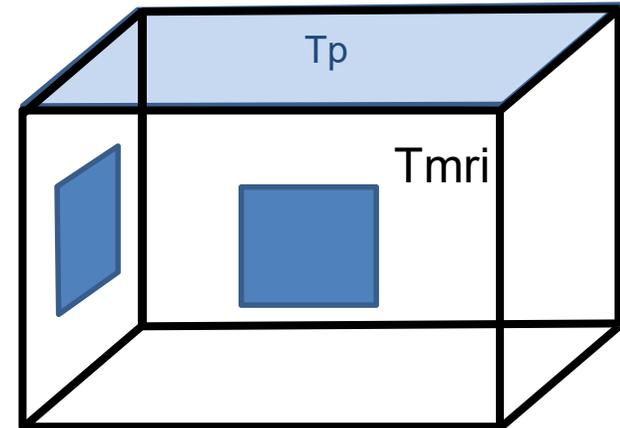
T_p [$^\circ\text{C}$]	T_{mri} [$^\circ\text{C}$]		
	16	18	20
20	100	100	-
21	97	95	85
22	94	92	85
23	93	91	85
24	92	90	86
25	91	89	86
26	91	89	86
27	90	88	86
28	90	88	86
29	90	88	86



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



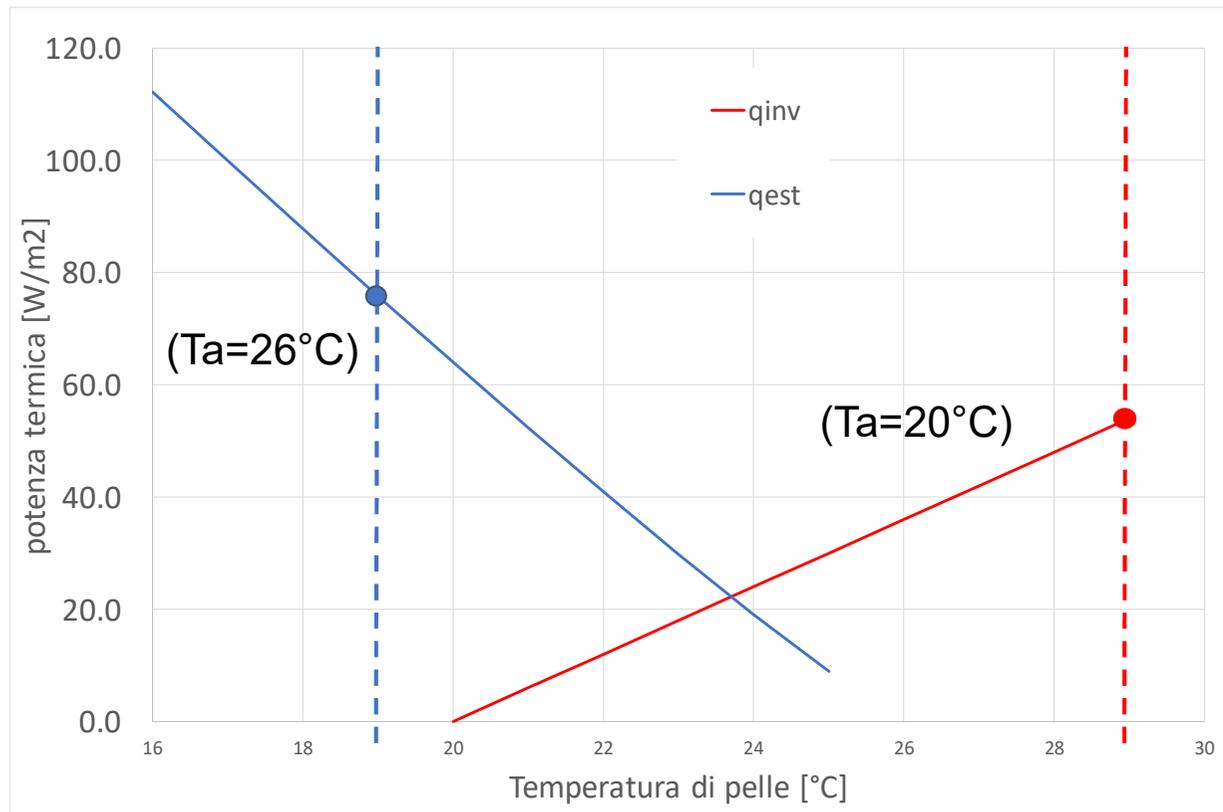
I terminali idronici

Pannelli radianti a soffitto

UNI EN 1264:

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

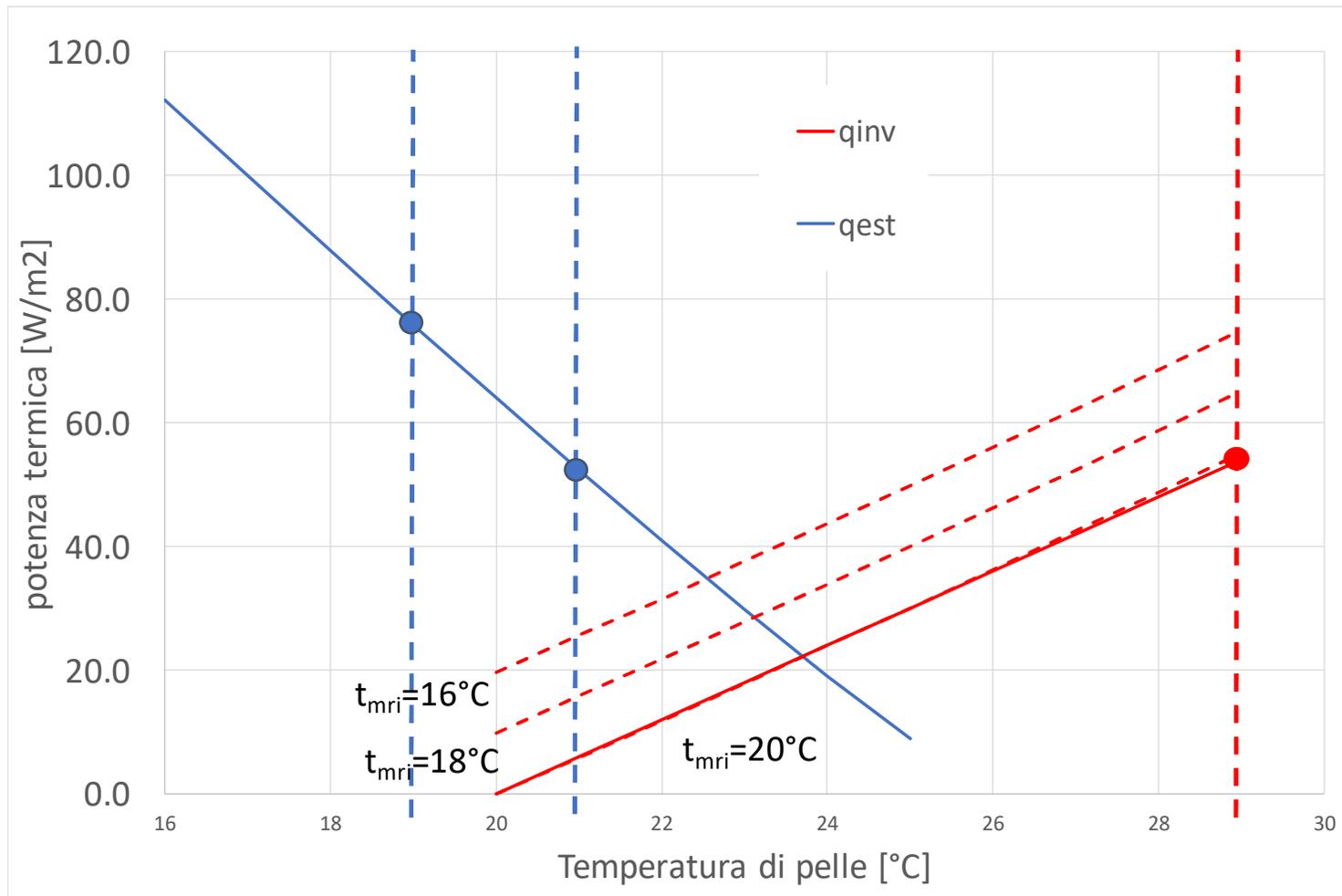
$$\dot{q}_{est} = K_{est} (T_a - T_p)^n = 8.92 (T_a - T_p)^{1.1} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$



I terminali idronici

Pannelli radianti a soffitto

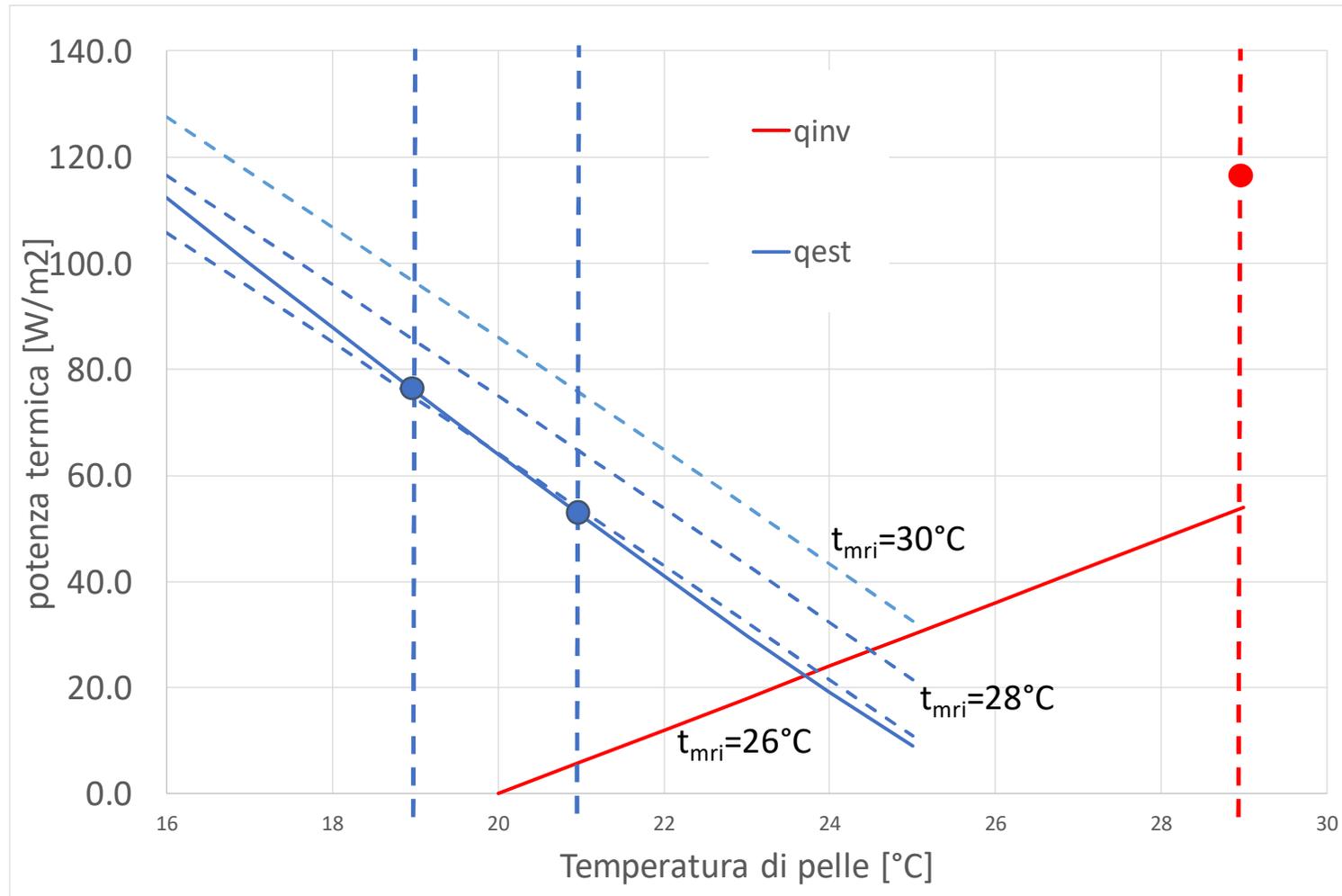
Influenza della temperatura delle pareti fredde (caso invernale):



I terminali idronici

Pannelli radianti a soffitto

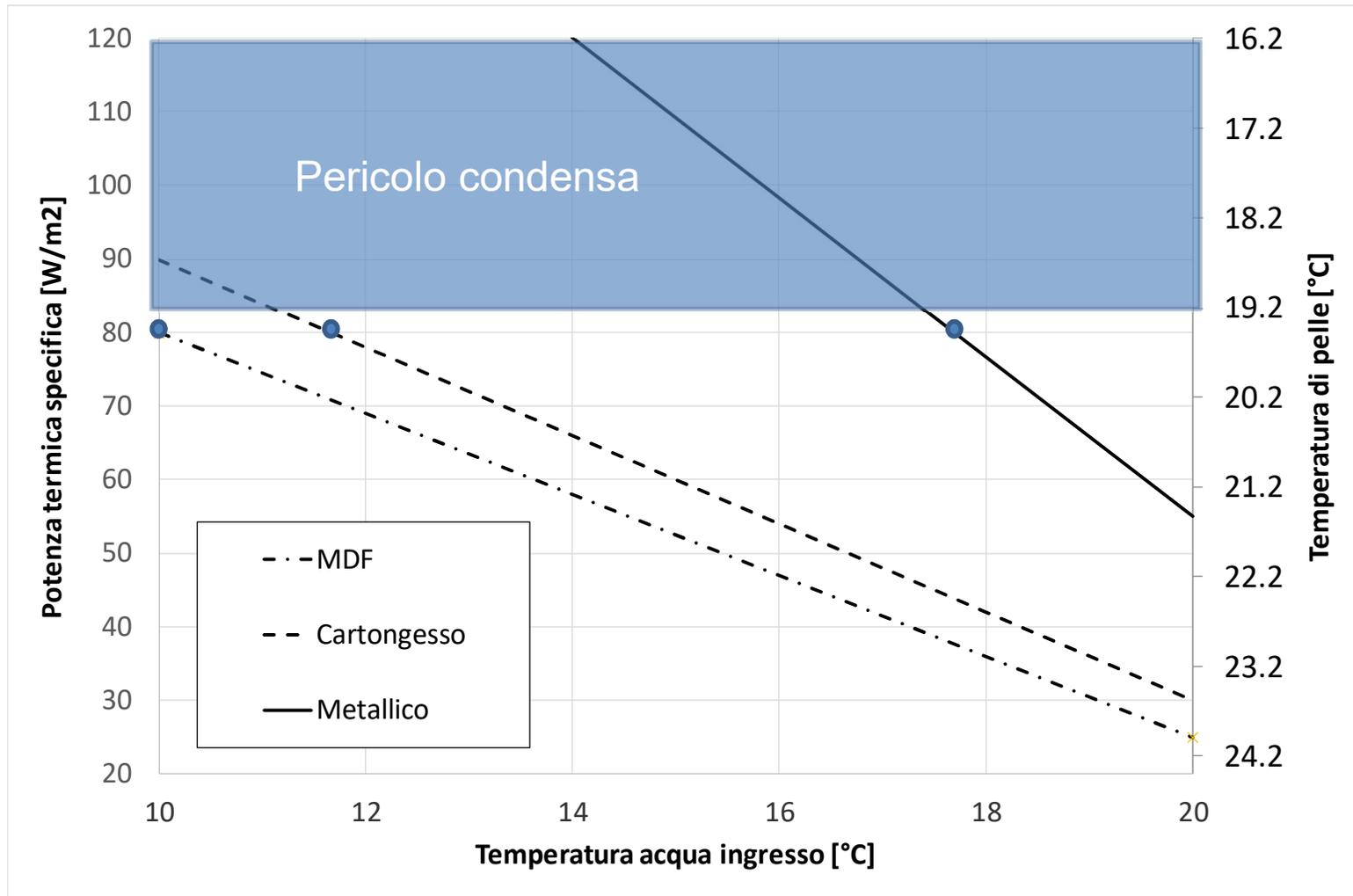
Influenza della temperatura delle pareti calde (caso estivo):



I terminali idronici

Pannelli radianti a soffitto

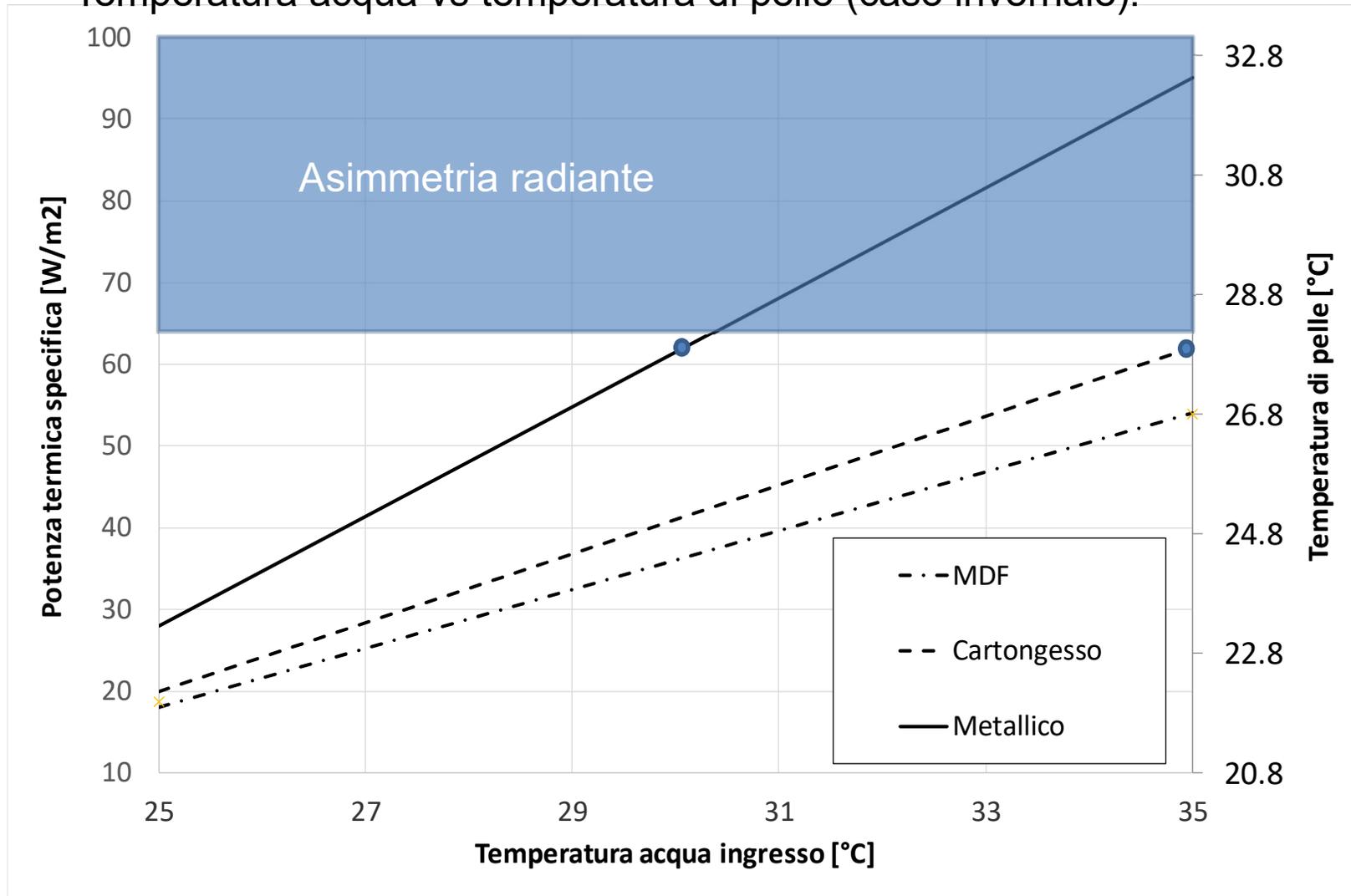
Temperatura acqua vs temperatura di pelle (caso estivo):



I terminali idronici

Pannelli radianti a soffitto

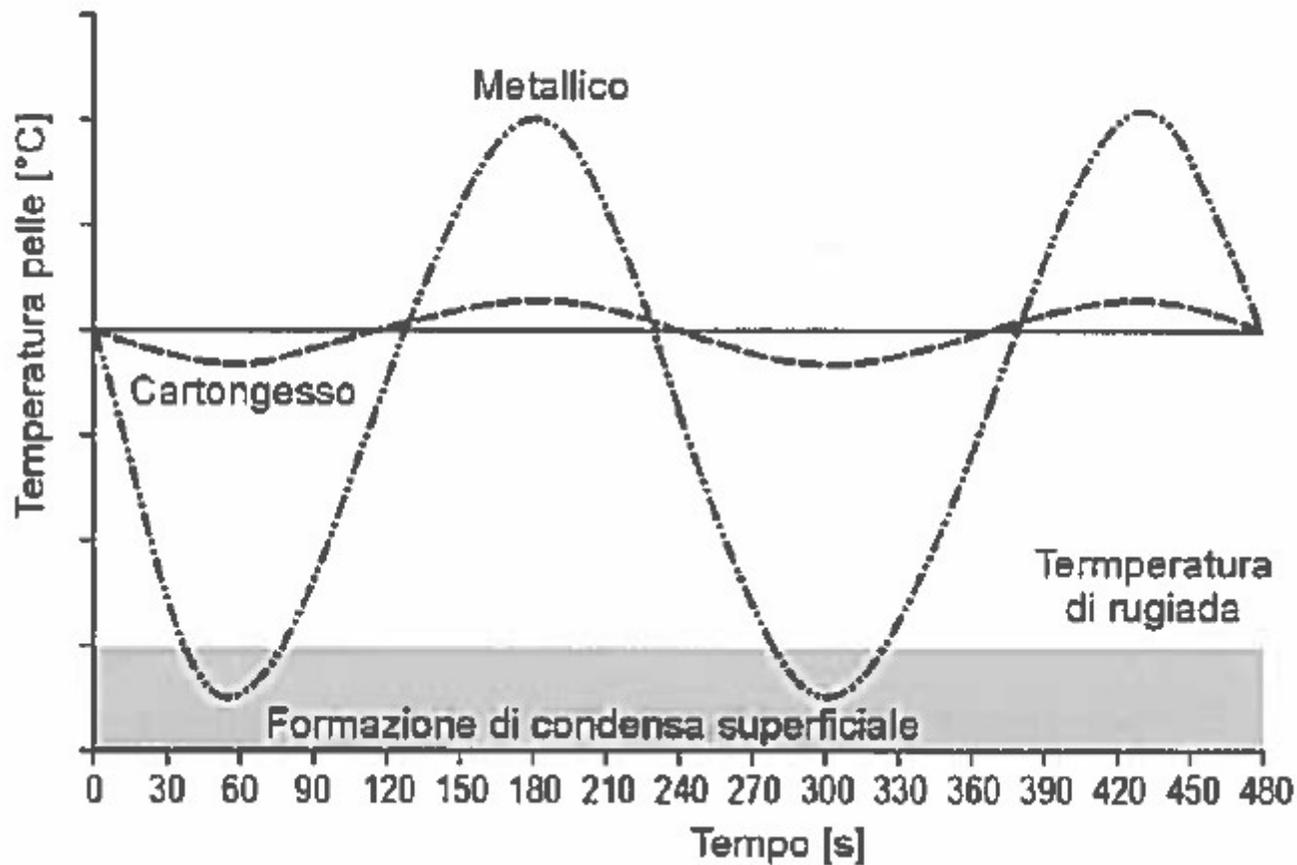
Temperatura acqua vs temperatura di pelle (caso invernale):



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

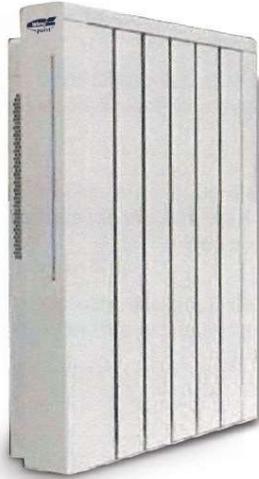
CONTRO

- 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

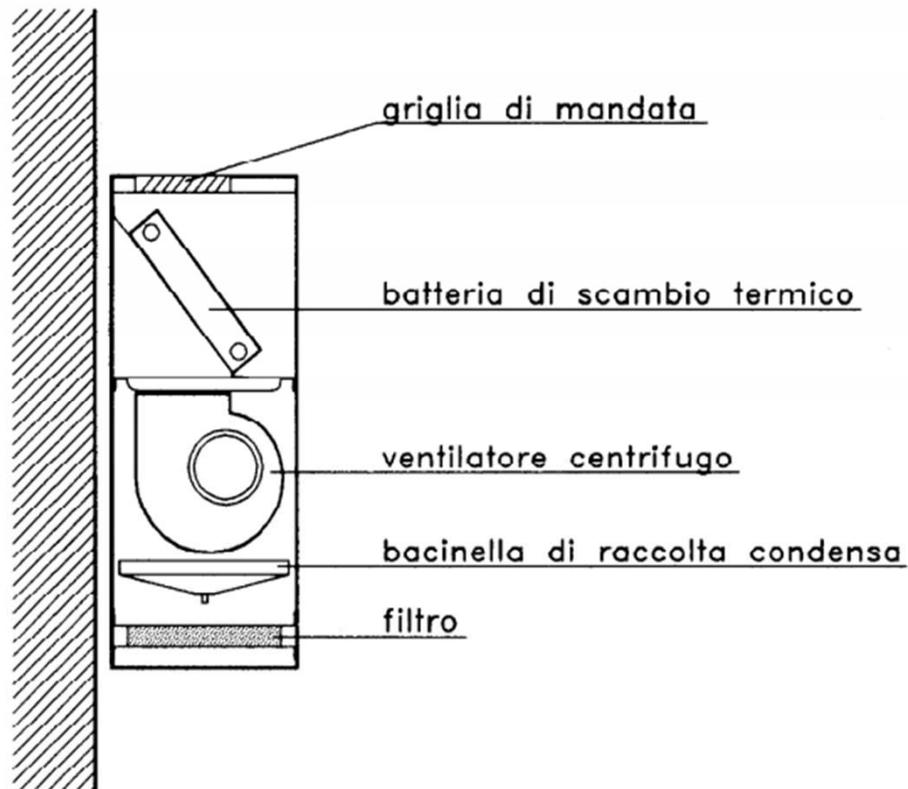
Installazione a controsoffitto



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:

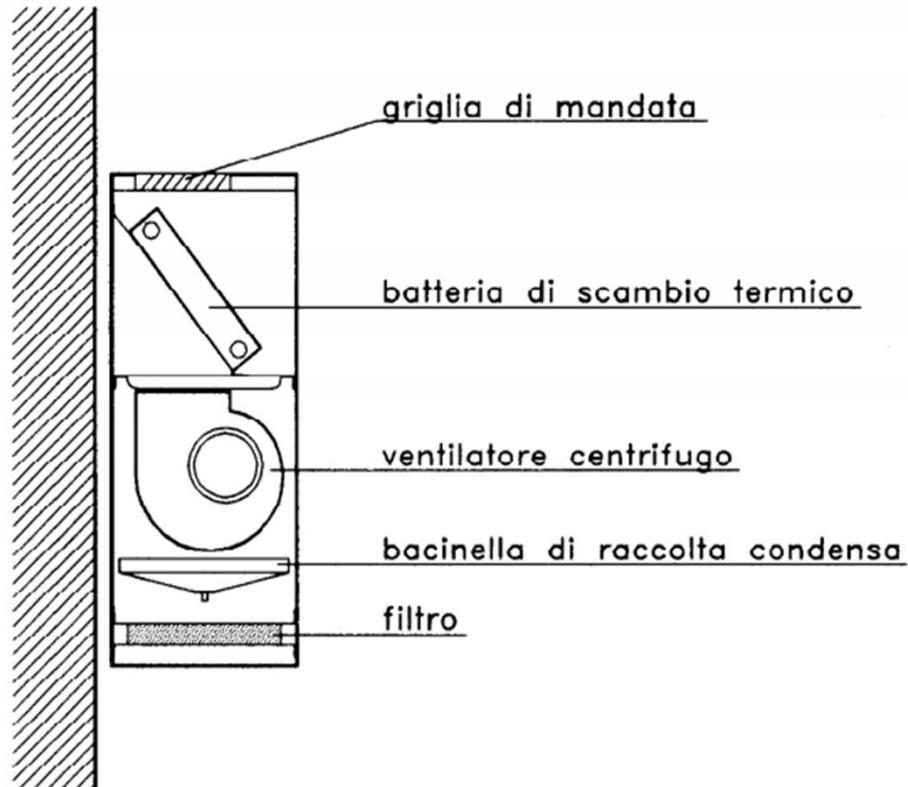
Scambio latente estivo

Filtro



I terminali idronici

Ventilconvettori



Regolazione potenza:

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

ΔT 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

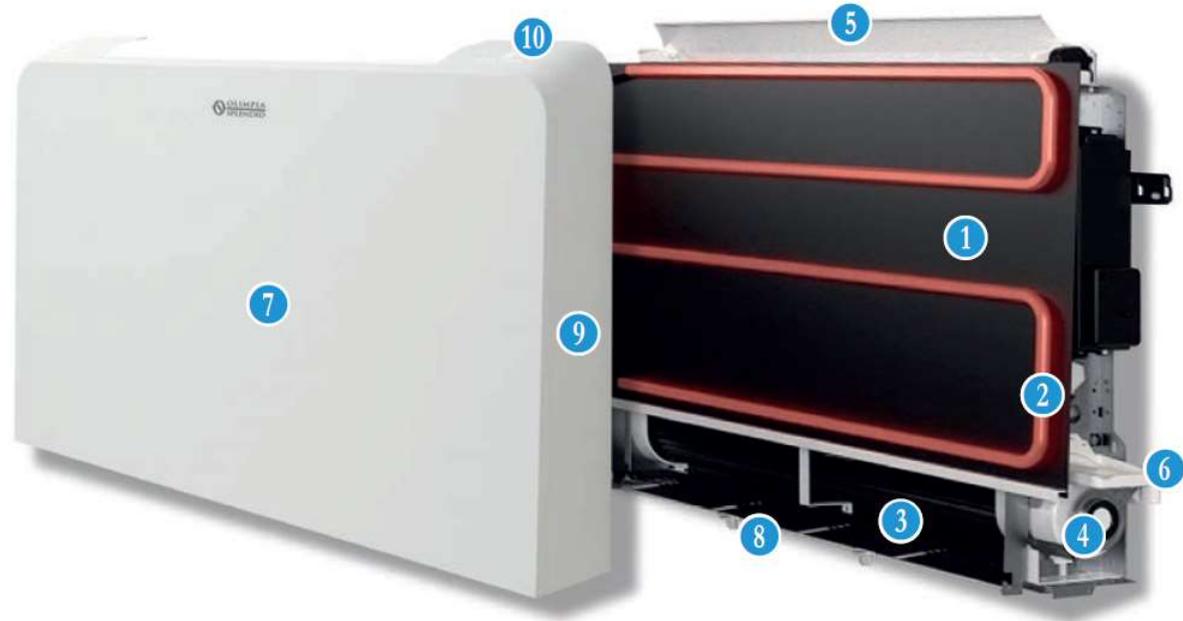
- Abbinamento a pompe di calore (bassa temperatura di mandata). Capacità di funzionamento reversibile (inverno/estate) e del controllo dell'umidità in estate
- Sovradimensionamento delle batterie di scambio in modo da avere una resa statica compatibile con le dispersioni a regime dei locali
- Utilizzo 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

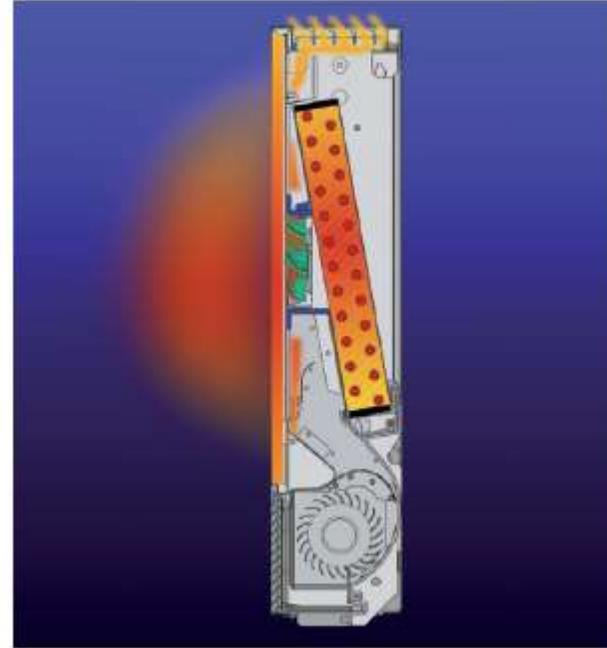
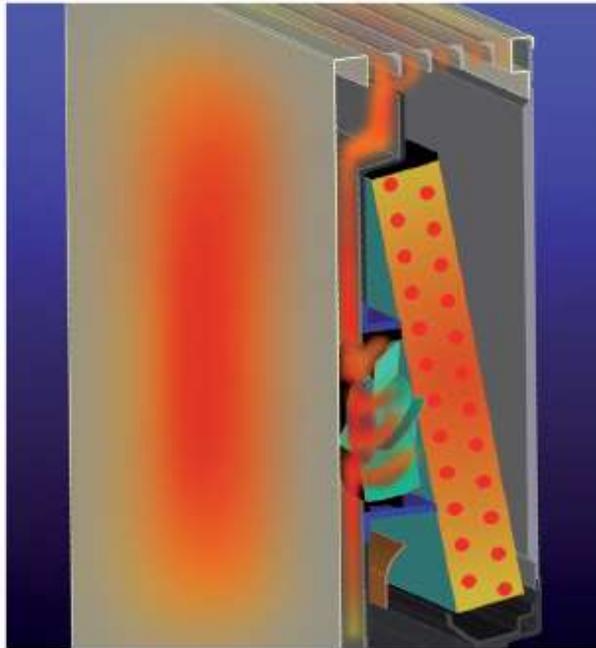


ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

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)



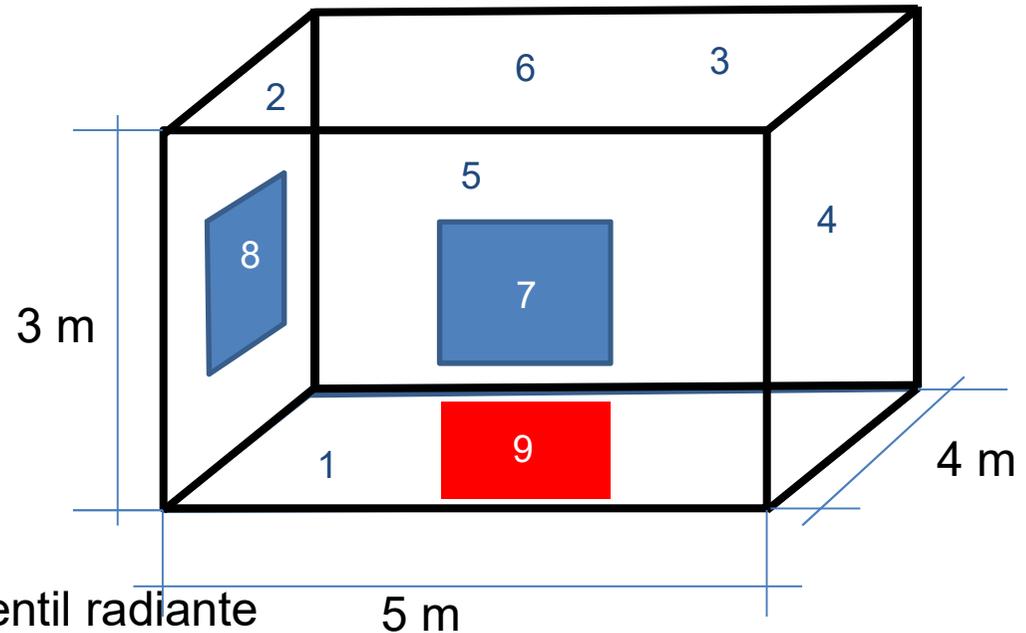
I terminali idronici

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

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 ²]
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

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

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

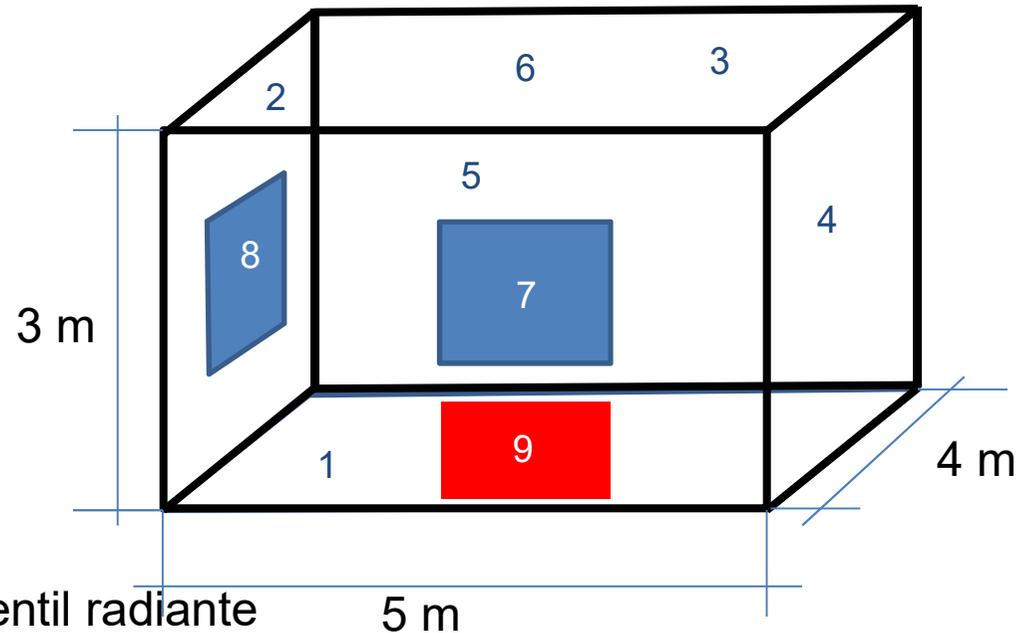
I terminali idronici

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

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 ²]
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 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) → **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

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

www.unibo.it