



IMPIANTI RADIANTI A PAVIMENTO • POSA E PROGETTAZIONE

09-07



## INDICE IMPIANTI RADIANTI A PAVIMENTO • POSA E PROGETTAZIONE

**Impianti ad uso civile**

pg. 5

**Impianti ad uso industriale**

pg. 7

**Civile - industriale**

pg. 8

**Riscaldamento**

pg. 9

**Tabelle per dimensionamento**

pg. 23



## IMPIANTI AD USO CIVILE

### ■ Posa di impianto su edifici destinati ad uso abitazione o uffici: materiali e sequenza di posa



#### ■ Banda perimetrale

Banda applicata tra pannello e parete per assorbire il contatto tra pavimento e pareti.

#### ■ Pannello isolante

Il pannello isolante, spessore a scelta, posato sul pavimento grezzo, ha due funzioni:

- isolante termico
- base per fissaggio tubi

L' utilizzo del pannello sagomato o liscio dipende da aspetti tecnici legati alla struttura edilizia ( tipo solaio, spazio a disposizione per l' impianto, dispersioni, tipo di massetto, tipo di ambiente da riscaldare).

Nella posa di pannelli a contatto con solai comunicanti con vani soggetti ad umidità elevate, è opportuno posare sotto il pannello un foglio di polietilene.

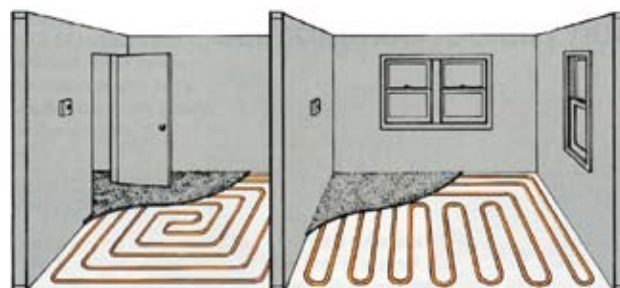
#### ■ Tubazioni

Tubazione in PE-X evoh disposta a chiocciola sopra il pannello isolante, con geometria variabile in base al progetto, distribuisce il calore nel pavimento.

Negli edifici civili, il diametro medio del tubo utilizzato è 17 mm con lunghezza non superiore a 110 m, valore che permette di garantire la portata richiesta per il riscaldamento senza superare le perdite di carico che costringerebbero ad aumentare la velocità del fluido termovettore oltre i limiti di velocità consigliati (generalmente 1,2 m/s).

Le geometrie di posa più utilizzate sono "chiocciola" o "serpentina". La disposizione a chiocciola è consigliata negli edifici con permanenza costante di persone ed in edifici con maggiori dispersioni in quanto il calore è distribuito più omogeneamente.

Il passo di posa varia in funzione delle superfici disperdenti dei locali.

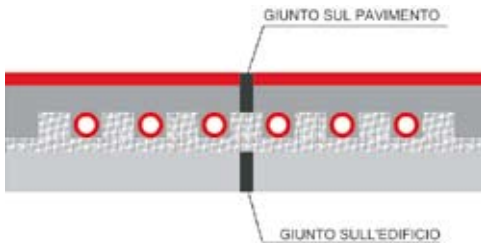


chiocciola

serpentina

## Rete elettrosaldata

La rete elettrosaldata viene posata sopra le tubazioni nelle grandi superfici o quando il massetto misurato sopra la tubazione non è superiore a 45 mm.



## Giunti di dilatazione

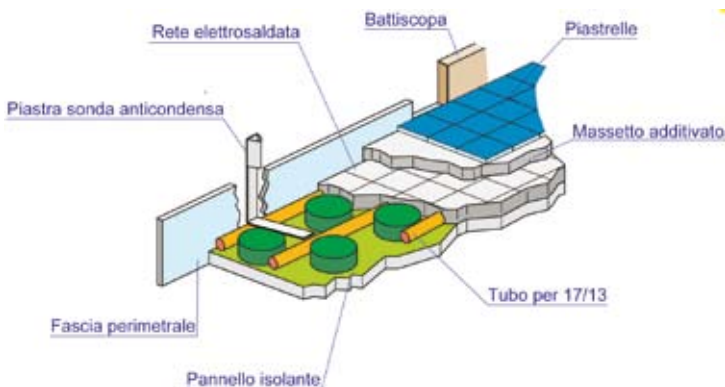
I giunti di dilatazione sono applicati in prossimità delle soglie ed in prossimità dei tagli del massetto nelle grandi superfici. I giunti di dilatazione devono essere applicati per suddividere il pavimento in isole con area non superiore a 40 m<sup>2</sup> e con lato non superiore a 8 m.

## Spessore del massetto

Lo spessore del massetto va calcolato in base al suo utilizzo (civile, industriale con carichi leggeri, industriale con carichi pesanti, ecc) ed in base al tipo di isolamento utilizzato. E' consigliato comunque mantenere uno spessore tra la generatrice superiore del tubo ed il pavimento finito compreso tra 5 e 10 cm. Utilizzando impasti premiscelati industrialmente, è possibile ridurre lo spessore del massetto alla condizione che la realizzazione venga approvata dalla D.L.;

## Liquido fluidificante

è consigliato miscelare l' impasto del massetto con il liquido fluidificante, in quantità pari all' 1% del peso del cemento, che riduce il contenuto d' acqua dell' impasto, favorendo una migliore essiccazione del massetto.



## Prima accensione

Questa operazione va compiuta solo dopo completa maturazione del cemento ed è consigliato attendere 21 giorni dalla gettata (EN 1264) o un tempo accordato dal costruttore. Il primo riscaldamento inizia ad una temperatura tra 20°C e 25°C che dev'essere mantenuta per almeno 3 giorni. Poi la temperatura di progetto deve essere tenuta per i successivi 4 giorni.

### PANNELLO SAGOMATO PASSO POSA 15



## Collaudo

**PRIMA DI GETTARE IL MASSETTO E' OBBLIGATORIO COLLAUDARE L' IMPIANTO AD UNA PRESSIONE MIN. DI 3 BAR PER ALMENO 24 ORE. IL TUBO DEVE RIMANERE IN PRESSIONE DURANTE IL GETTO.**

## IMPIANTI AD USO INDUSTRIALE

### ■ Posa di impianto su edifici destinati ad uso industriale: materiali e sequenza di posa



#### ■ Banda perimetrale

Banda applicata tra pannello e parete per assorbire il contatto tra pavimento e pareti.

#### ■ Pannello isolante

Negli impianti industriali proponiamo due soluzioni di pannello isolante:

1. EPS stampato,
2. EPS liscio rivestito con foglio barriera vapore serigrafato.

Gli spessori variano in base al sottofondo, alle dispersione e alla destinazione d'uso del fabbricato.

I pannelli sono generalmente posati direttamente sul terreno compattato o sopra una base di calcestruzzo. Tra il pannello isolante ed il fondo è obbligatorio stendere un foglio di polietilene con funzione di barriera vapore. La densità del pannello non deve essere inferiore a 30 kg/m<sup>3</sup>. Il pannello liscio è consigliato in questo tipo di applicazioni in quanto il passo di posa sulle ampie superfici con temperatura ambiente non superiore a 18° C, generalmente non è inferiore a 20 mm, pertanto non risulta indispensabile il pannello sagomato. In alcuni casi, quando non è necessaria una ulteriore coibentazione, è possibile posare il tubo direttamente sopra il terreno compattato o sopra la base di calcestruzzo senza l'utilizzo del pannello.

In queste applicazioni, il tubo viene fissato sulla rete elettrosaldata mediante apposite clips o barre sagomate. Si raccomanda anche in questi casi la posa di un foglio di polietilene tra il fondo grezzo e le tubazioni per evitare la trasmissione del vapore.

#### ■ Tubazioni

Il modello di posa più utilizzato negli impianti industriali è la "serpentina". Questa tecnica permette di ridurre i tempi di posa ed i costi in quanto non sono necessari i pannelli sagomati; permette inoltre di utilizzare un diametro di tubo maggiore (es. 20 mm) per ridurre il numero di serpentine.

#### ■ Rete elettrosaldata

La rete elettrosaldata è sempre consigliata posata sopra le tubazioni nelle superfici ad uso industriale per distribuire i carichi. La rete non deve avere diametro minore di 5 mm.

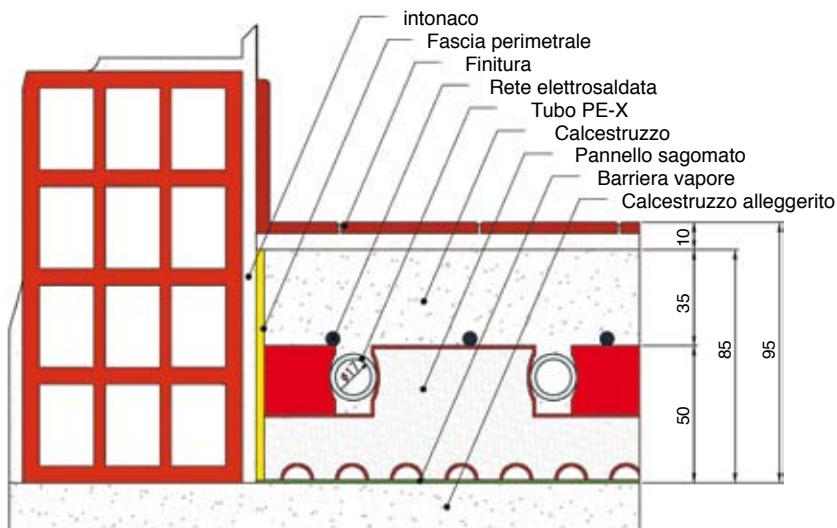
#### ■ Giunti di dilatazione

I giunti di dilatazione devono essere applicati per suddividere il pavimento in isole con area non superiore a 40 m<sup>2</sup> e con lato non superiore a 8 m.

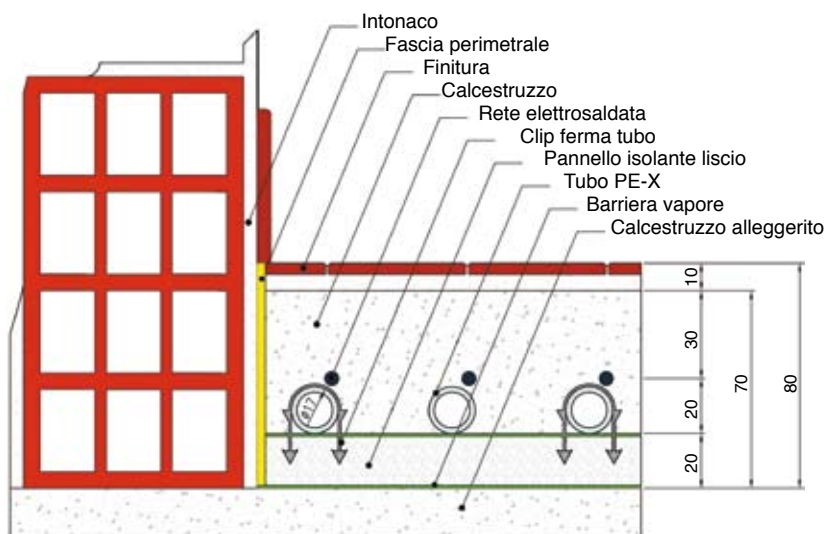


## CIVILE - INDUSTRIALE

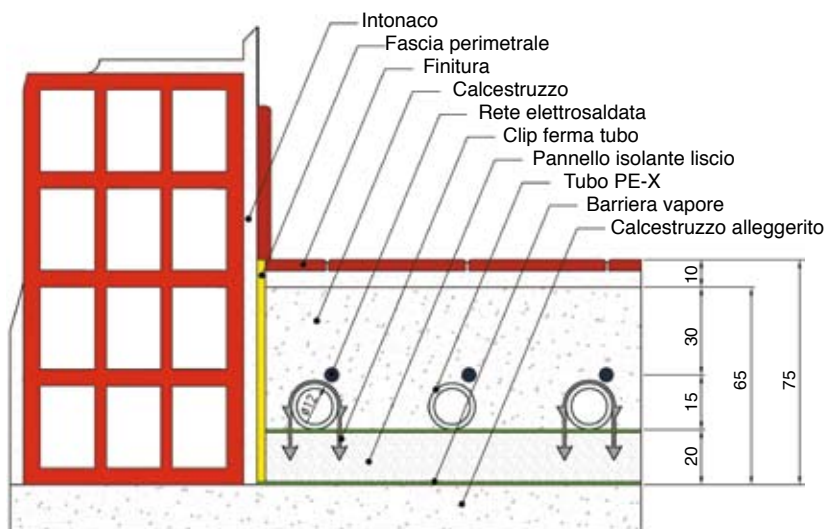
### Spessori minimi per l'installazione di un impianto a pavimento



**CON PANNELLO SAGOMATO  
E TUBO PE-X 17 X 2 MM**



**RIBASSATO, CON PANNELLO  
LISCIO E TUBO PE-X 17 X 2 MM**



**RIBASSATO, CON PANNELLO  
LISCIO E TUBO PE-X 12 X 2 MM**



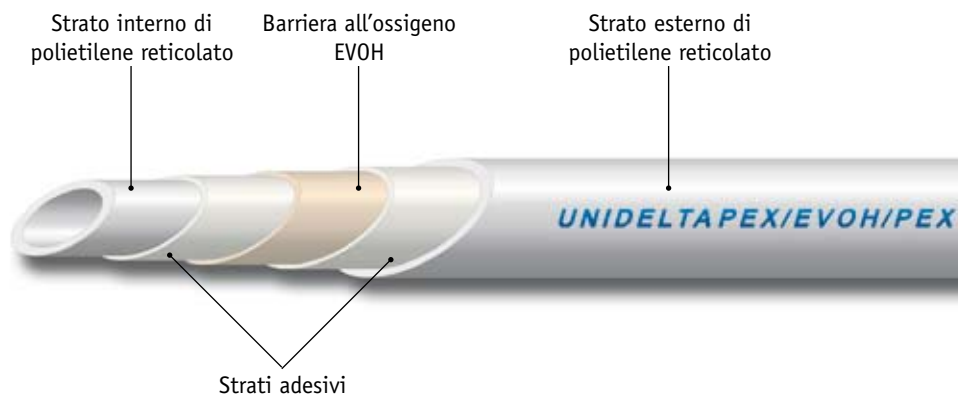
## RISCALDAMENTO

### Tubi di polietilene reticolato Unidelta PEX UNI 9338

Condizioni di impiego dei tubi Unidelta PEX secondo la normativa italiana UNI 9338.

Temperatura dell'acqua	Fattore di sicurezza Cs	Durata in esercizio continuo (anni)	Pressine massima di esercizio (bar)	
fino a 60°C	1.3	50	PN 10 10	PN 16 16
oltre 60°C / fino a 80°C	1.3	50	PN 10 6	PN 16 10
oltre 80°C / fino a 95°C	1.3	10	PN 10 6	PN 16 10

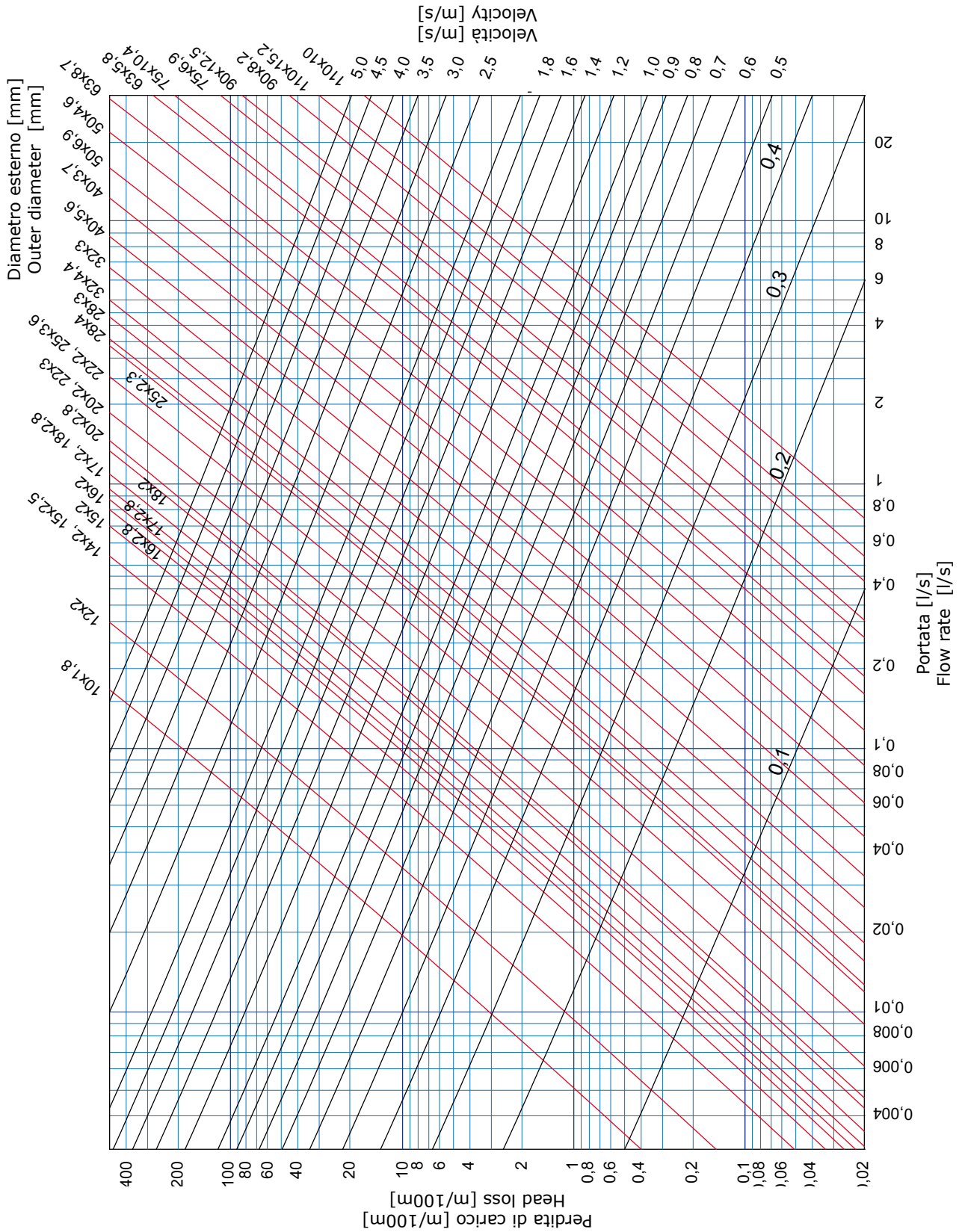
De (mm)	s (mm)	Di (mm)	Ar (cm <sup>2</sup> )	Au (cm <sup>2</sup> )	J (cm <sup>2</sup> )	Pt (kg/m)	Vf (l/m)
15	2.0	11.0	0.82	0.95	0.1766	0.081	0.095
16	2.0	12.0	0.88	1.13	0.2199	0.088	0.113
17	2.0	13.0	0.94	1.33	0.2698	0.094	0.133
18	2.0	14.0	1.01	1.54	0.3267	0.100	0.154
20	2.0	16.0	1.13	2.01	0.4637	0.112	0.201
22	2.0	18.0	1.26	2.54	0.6346	0.125	0.25
25	2.3	20.4	1.64	3.27	1.06	0.16	0.33



## Perdite di carico

### TUBO UNIDELTA PEX UNI 9338

Acqua a 50° C Water at 50°C



## ■ Rese dei tubi Unidelta PEX negli impianti di riscaldamento a pavimento

Di seguito sono esposti i concetti di base, le formule ed i diagrammi impiegati per il dimensionamento degli impianti di riscaldamento a pavimento realizzati con tubi Unidelta PEX. Le procedure adottate per il calcolo delle rese, delle temperature, delle portate e delle lunghezze delle serpentine sono basate sui criteri della norma EN 1264:1998 'Floor heating – systems and components'; si rimanda quindi a tale norma o ad altra documentazione specializzata per maggiori dettagli.

### ■ Fabbisogno termico specifico

L'impianto di riscaldamento a pavimento emette energia termica sia verso l'alto sia verso il basso in funzione delle resistenze termiche degli strati di materiale che compongono il pavimento sopra e sotto la serpentina. Poiché l'energia termica utile è quella verso l'alto è necessario ridurre quanto più possibile il flusso termico verso il basso inserendo uno strato di materiale isolante sotto le serpentine. L'energia termica dell'impianto di riscaldamento (resa) deve essere tale da coprire il fabbisogno termico  $Q$  in [W] richiesto dal locale considerato che dipende dalle condizioni ambientali interne ed esterne, quali temperatura del locale, temperatura esterna, presenza di vento, incidenza dei raggi solari, composizione delle pareti del locale, eventuale energia termica dovuta al riscaldamento del locale superiore, ecc.. Il flusso termico specifico  $q$  in [W/m<sup>2</sup>] diretto verso l'alto è quindi la quantità di calore necessaria al locale per unità di superficie:

$$q = \frac{Q}{A_f} \quad [11.1]$$

dove  $A_f$  è la superficie del pavimento [m<sup>2</sup>].

Il flusso termico specifico  $q$  è il valore sul quale si basa il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento a pannelli radianti. Questo dipende da un numero elevato di parametri quali:

$s_u$	spessore dello strato compreso fra la serpentina ed il rivestimento del pavimento [m]
$l_E$	conduttività dello strato compreso fra la serpentina ed il rivestimento del pavimento [W/mK]
$R_B$	resistenza termica del rivestimento del pavimento [m K/W]
$D_e$	diametro esterno del tubo Unidelta PEX [mm]
$T$	passo delle serpentine [cm]
$T_i$	temperatura ambiente [°C]
$T_v$	temperatura di mandata dell'acqua del circuito [°C]
$T_r$	temperatura di ritorno dell'acqua del circuito [°C]

La relazione esistente tra il flusso termico specifico  $q$  e i parametri sopracitati è la seguente:

$$q = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \Delta\theta_H \quad [11.2]$$

dove

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln\left(\frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}\right)} \quad [11.3]$$

$$\alpha_1 = \alpha_1(De, s_w) \quad [11.4]$$

$$\alpha_2 = \alpha_2(\lambda_E, R_B) \quad [11.5]$$

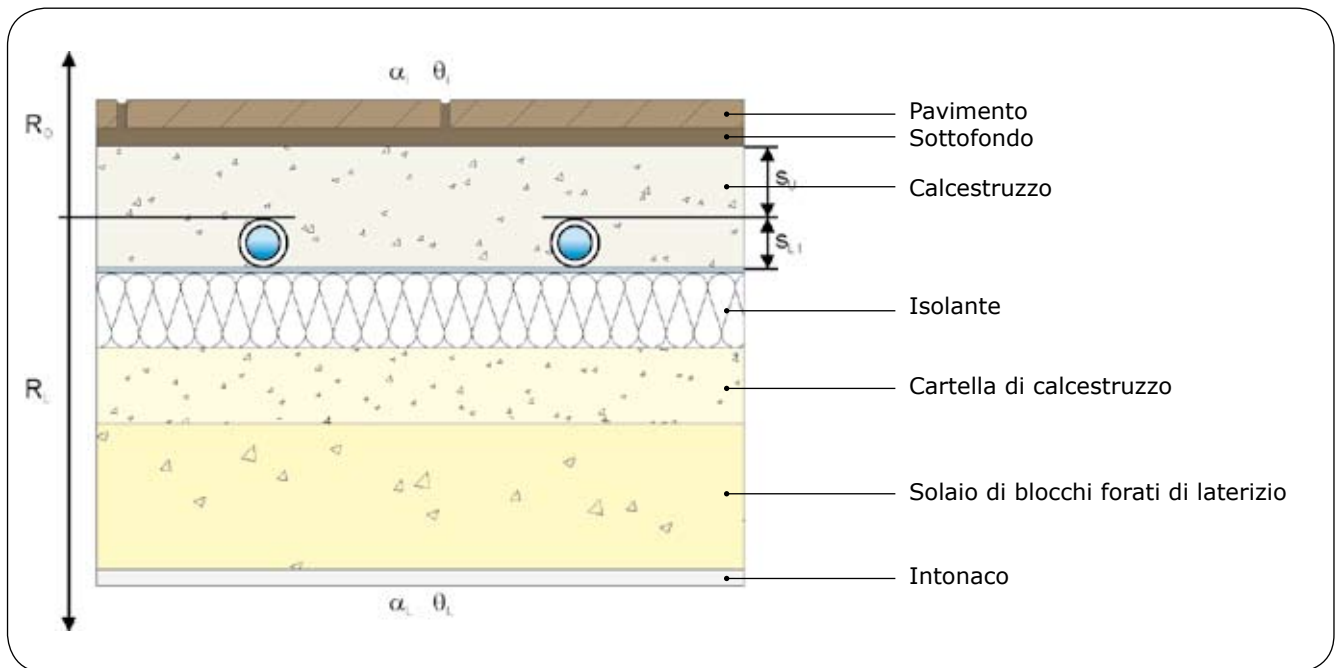
$$\alpha_3 = \alpha_3(T, R_B) \quad [11.6]$$

sono dati rispettivamente dai diagrammi 11.1, 11.2, 11.3 e 11.4.

#### Struttura del pavimento

Per poter valutare il flusso termico specifico è necessario aver stabilito la struttura del pavimento (spessore  $s_u$  e conduttività  $l_E$ ) compreso il suo rivestimento (resistenza termica  $R_B$ ).

**FIGURA 11.1 STRUTTURA DEL PAVIMENTO NEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO A PAVIMENTO**



In figura 11.1 è mostrata la pavimentazione adottata generalmente per un impianto di riscaldamento a pavimento.

La resistenza termica del rivestimento  $R_B$  è data dalla somma delle resistenze dei singoli strati che lo compongono

$$R_{B_i} = s_{B_i} / \lambda_{B_i}:$$

$$R_B = \frac{s_{B1}}{\lambda_{B1}} + \frac{s_{B2}}{\lambda_{B2}} + \dots + \frac{s_{Bn}}{\lambda_{Bn}} = \sum_{i=1}^n \frac{s_{B_i}}{\lambda_{B_i}} \quad [11.7]$$

Le conduttività termiche  $\lambda$  di alcuni materiali omogenei, le resistenze termiche  $R$  di alcuni materiali composti e di alcuni rivestimenti sono riportate nelle tabelle 11.1, 11.2 e 11.3 rispettivamente.

**TABELLA 11.1 CONDUTTIVITÀ TERMICHE E PESI SPECIFICI DI ALCUNI MATERIALI OMOGENEI**

Materiale	Conduttività termica $\lambda$ [W/mK]	Peso specifico $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Asfalto	0.7	2100
Calcestruzzo armato	1.51	2400
Calcestruzzo ordinario	1.28	2200
Ceramica/cotto	1.16	2400
Gesso	0.43	1240
Ghiaia secca in strati	0.93	1900
Gomma dura per pavimenti	0.28	1200
Granito	3.14 ÷ 4.07	2500 ÷ 3000
Intonaco di calce e sabbia interno	0.7	1800
Intonaco di gesso interno	0.52	1200
Linoleum	0.18	1200
Malta di cemento	1.4	2200
Marmo	3.37	2700
Moquette	0.09	
Parquet di quercia/rovere	0.2	850
Polistirolo espanso	0.035	25
Poliuretano espanso	0.025	35
PVC	0.17	1350
Sabbia asciutta	0.58	1500
Sabbia e cemento	0.93	2100
Sughero in piastre	0.035 ÷ 0.070	120 ÷ 300
Vermiculite espansa	0.07	130

**TABELLA 11.2 RESISTENZE TERMICHE DI ALCUNI MATERIALI NON OMOGENEI**

Materiale	Resistenza termica $R$ [m <sup>2</sup> K/W]
Solaio di blocchi forati di laterizio spessore 0.15 ÷ 0.18 m	0.30
Solaio di blocchi forati di laterizio spessore 0.18 ÷ 0.22 m	0.35
Solaio di blocchi forati di laterizio spessore 0.22 ÷ 0.26 m	0.45

**TABELLA 11.3 RESISTENZE TERMICHE DI ALCUNI RIVESTIMENTI**

Rivestimento	Spessore $s_B$ [mm]	Conduttività termica $\lambda_B$ [W/mK]	Resistenza termica $R_B$ [m <sup>2</sup> K/W]
Marmo	15	3.3	0.0012
Letto di malta	10	1.4	0.0012
Piastrelle in ceramica/cotto	10	1.0	0.0011
Letto di malta	2	0.4	0.0011
PVC	5	0.17	0.03
Parquet	8	0.2	0.05
Collante	2	0.2	0.05
Moquette	10	0.09	0.11

## ■ Temperatura media del pavimento

Per determinare la temperatura media del pavimento  $q_F, m$  che deve essere realizzata per avere il flusso termico specifico  $q$  si fa uso del diagramma 11.5a per rese inferiori a 140 W/m<sup>2</sup> e del diagramma 11.5b per rese superiori a 140 W/m<sup>2</sup>. Per locali a stazionamento prolungato la temperatura massima ammissibile è di 29°C, per i bagni è di 32°C mentre per le zone dove non è previsto stazionamento - quali le aree perimetrali in prossimità di pareti ad alta dispersione - è consentita una temperatura di 35°C.

Quando dal dimensionamento dell'impianto risulta una temperatura media del pavimento eccessiva è necessario ridurre le dispersioni di calore, migliorando l'isolamento termico del locale, oppure fornendo l'energia termica che il pannello non riesce ad emettere con corpi scaldanti integrativi esterni, elettrici od idraulici, che vengono impiegati saltuariamente nelle condizioni climatiche più sfavorevoli.

## ■ Portata di acqua nella serpentina

La portata di acqua  $m_H$  può essere calcolata mediante il diagramma 11.6 che fornisce il rapporto fra la portata di acqua e la superficie del locale  $A_F$  in funzione di due parametri composti  $\beta_1$  e  $\beta_2$  e del salto termico del fluido  $q_V - q_R$ . Il valore di  $\beta_1$  è funzione della resistenza termica  $R_L$  dello strato di pavimento sottostante i tubi e della differenza tra la temperatura ambiente del locale considerato  $q_i$  e quella del locale inferiore  $q_L$ . Il diagramma 11.7 ne consente la determinazione.

Il valore di  $\beta_2$  è funzione della resa dell'impianto  $q$  e del rapporto  $R_L / R_o$  fra le resistenze termiche dello strato di pavimento sopra i tubi  $R_o$  e quello inferiore  $R_L$ . Il diagramma 11.8a per  $q$  inferiori a 100 W/m<sup>2</sup> e il diagramma 11.8b per  $q$  superiori a 100 W/m<sup>2</sup> consentono la determinazione di questo parametro.

La velocità  $v$  del flusso che deriva dalla portata  $m_H$  non deve superare il valore di 0.7 m/s per installazioni di tipo civile mentre in ambienti industriali sono consentite velocità fino a 1 m/s.

**La resistenza termica dello strato di pavimento superiore ai tubi è data dall'espressione seguente:**

$$R_o = \frac{1}{\alpha_i} + R_B + \frac{s_u}{\lambda_E} \quad [11.8]$$

dove  $\alpha_i = 10.8$  W/m<sup>2</sup>K è il coefficiente di scambio termico per convezione tra pavimento e aria sovrastante,  $R_B$ ,  $s_u$  e  $\lambda_E$  sono i parametri visti in precedenza: rispettivamente la resistenza termica del rivestimento, lo spessore e la conduttività termica dello strato di materiale compreso tra i tubi ed il rivestimento.

**La resistenza termica dello strato di pavimento inferiore è dato da:**

$$R_L = \frac{s_{L1}}{\lambda_{L1}} + R_{isol} + \frac{s_{L2}}{\lambda_{L2}} + \dots + \frac{s_{Lm}}{\lambda_{Lm}} + \frac{1}{\alpha_L} = \sum_{i=1}^m \frac{s_{Li}}{\lambda_{Li}} + R_{isol} + \frac{1}{\alpha_L} \quad [11.9]$$

dove  $\alpha_L = 5.9$  W/m<sup>2</sup>K è il coefficiente di scambio termico per convezione tra superficie inferiore del pavimento e l'aria del locale sottostante,  $R_{isol}$  è la resistenza termica dell'isolante,  $s_{Li}$  e  $\lambda_{Li}$  sono gli spessori e le conduttività termiche degli strati di materiale che compongono il pavimento al di sotto delle serpentine.

## Flusso termico verso il basso

L'emissione di calore di un sistema di riscaldamento a pavimento deve avvenire soprattutto verso l'alto; per questo all'interno del pavimento e sotto le serpentine viene inserito uno strato di materiale isolante che aumenta la resistenza termica verso il basso riducendo il flusso termico  $q_2$  in questa direzione. Una certa quantità di energia termica viene comunque sempre ceduta verso il basso in funzione della temperatura  $q_L$  del locale sottostante. Questo flusso termico deve essere conteggiato come apporto di calore dall'esterno quando viene effettuato il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento a pavimento e può essere dell'ordine del 10÷15% del flusso termico verso l'alto. Il calcolo del flusso di calore verso il basso può essere fatto utilizzando la formula seguente:

$$q_2 = \beta_1 + \beta_2 - q \quad [11.10]$$

dove  $\beta_1$  e  $\beta_2$  sono i coefficienti utilizzati per il calcolo della portata di acqua.

### Lunghezza della serpentina

La lunghezza del tubo che compone la serpentina può essere calcolata semplicemente dal rapporto fra la superficie del locale e il passo della serpentina:

$$L = 100 \cdot A_f / T \quad [11.11]$$

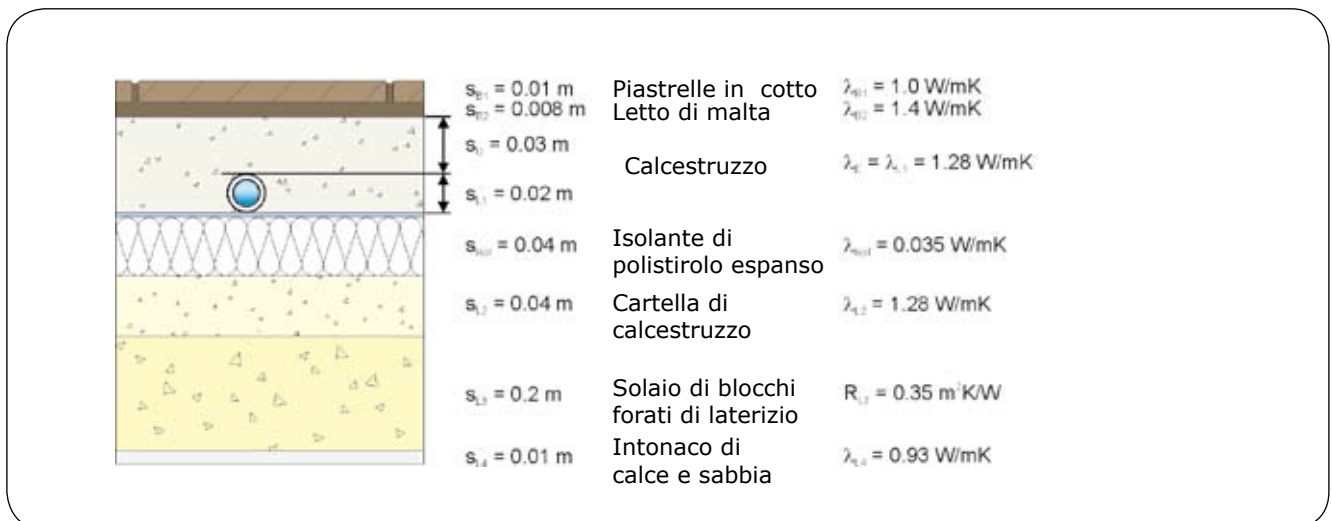
con  $A_f$  espressa in  $[m^2]$  ed il passo  $T$  in  $[cm]$ . Per un calcolo più preciso è necessario considerare anche i tratti di tubo di adduzione che collegano il pannello radiante al collettore di distribuzione poiché anch'essi emettono energia termica.

### Esempio 1

Si voglia dimensionare l'impianto di riscaldamento a pavimento di un locale avente una superficie  $AF = 27 m^2$  ed un fabbisogno termico  $Q = 2000 W$ . La struttura della pavimentazione è quella mostrata in figura, si voglia utilizzare il tubo Unidelta PEX 17x2.0 (UNI 9338) e si considerino inoltre i seguenti dati:

- $q_i = 20^\circ C$       Temperatura ambiente del locale
- $q_L = 10^\circ C$       Temperatura ambiente del locale sottostante
- $q_v = 45^\circ C$       Temperatura di mandata dell'acqua del circuito
- $q_R = 35^\circ C$       Temperatura di ritorno dell'acqua del circuito

Figura 11.2. Struttura del pavimento di esempio



Prima vengono determinati i parametri che intervengono nel dimensionamento:

$D_e = 17 \text{ mm}$  Diametro esterno del tubo Unidelta PEX stabilito  
 $S_u = 0.03 \text{ m}$  Spessore dello strato di materiale compreso fra le serpentine ed il rivestimento  
 $I_E = 1.28 \text{ W/mK}$  Conduttività dello strato di materiale compreso fra le serpentine ed il rivestimento

La resistenza termica del rivestimento è data dalla formula [11.7]:

$$R_B = \frac{S_{B1}}{\lambda_{B1}} + \frac{S_{B2}}{\lambda_{B2}} = \frac{0.01 \text{ m}}{1.0 \text{ W/mK}} + \frac{0.008 \text{ m}}{1.4 \text{ W/mK}} = 0.0157 \text{ m}^2\text{K/W}$$

La resistenza termica complessiva verso l'alto è data dalla formula [11.8]:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_i} + R_B + \frac{S_u}{\lambda_E} = \frac{1}{10.8 \text{ W/m}^2\text{K}} + 0.0157 \text{ m}^2\text{K/W} + \frac{0.03 \text{ m}}{1.28 \text{ W/mK}} = 0.132 \text{ m}^2\text{K/W}$$

La resistenza termica complessiva verso il basso è data dalla formula [11.9]:

$$R_L = \sum_{i=1}^m \frac{S_{Li}}{\lambda_{Li}} + R_{isol} + \frac{1}{\alpha_L} =$$

$$= \frac{0.02 \text{ m}}{1.28 \text{ W/mK}} + 0.35 \text{ m}^2\text{K/W} + \frac{0.04 \text{ m}}{1.28 \text{ W/mK}} + \frac{0.01 \text{ m}}{0.7 \text{ W/mK}} + \frac{0.04 \text{ m}}{0.035 \text{ W/mK}} + \frac{1}{5.9 \text{ W/m}^2\text{K}} = 1.723 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Il flusso termico che il pavimento deve realizzare per bilanciare il fabbisogno energetico del locale è:

$$q = \frac{Q}{A_F} = \frac{2000 \text{ W}}{27 \text{ m}^2} = 74 \text{ W/m}^2$$

ma il flusso termico è dato anche dalla formula [11.2]

$$q = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \Delta\theta_H$$

dove:

$\alpha_1 = 1.02$  dal diagramma 11.1 per  $D_e = 17 \text{ mm}$  e  $S_u = 0.03 \text{ m}$ ,  
 $\alpha_2 = 6.45$  dal diagramma 11.2 per  $I_E = 1.28 \text{ W/mK}$  e  $R_B = 0.0157 \text{ m}^2\text{K/W}$ ,  
 $\alpha_3$  è incognito in quanto il passo della serpentina  $T$  è incognito,  
 $D_{qH} = 19.5$  dal diagramma 11.4 per  $q_v - q_i = 25 \text{ K}$  e  $q_R - q_i = 15 \text{ K}$ .

Quindi si può ricavare il coefficiente  $\alpha_3$  che è:

$$\alpha_3 = \frac{q}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \Delta\theta_H} = \frac{74}{1.02 \cdot 6.45 \cdot 19.5} = 0.576$$

che consente di determinare il passo  $T$  dal diagramma 11.3 in funzione di  $R_B$ . Il punto del diagramma 11.3 corrispondente ad  $\alpha_3 = 0.576$  e  $R_B = 0.0157 \text{ m}^2\text{K/W}$  cade fra il passo  $T = 30 \text{ cm}$  e  $T = 27.5 \text{ cm}$ , scegliendo il passo ampio,  $T = 30 \text{ cm}$ , si determina il nuovo valore di  $\alpha_3 = 0.557$  dal medesimo diagramma. Variato il valore del coefficiente  $\alpha_3$  è opportuno calcolare il nuovo valore di  $D_{qH}$  dal quale si determina la temperatura effettiva di ritorno dell'acqua del circuito  $T_R$ .

Quindi:

$$\Delta\theta_H = \frac{q}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3} = \frac{74}{1.02 \cdot 6.45 \cdot 0.557} = 20.2$$

e dal diagramma 11.4 si ottiene  $q_R - q_i = 16 \text{ K}$  da cui la nuova temperatura di ritorno  $q_R = 36^\circ\text{C}$  che comporta una salto termico dell'acqua di  $9^\circ\text{C}$ .



Si può ora calcolare la temperatura media del pavimento  $q_{F,m}$  mediante il diagramma 11.5a (per  $q$  inferiore a 140 W/m<sup>2</sup>) da cui:

$$\theta_{F,m} - \theta_i = 6.8 \text{ K}$$

e

$$\theta_{F,m} = 26.8^\circ\text{C}$$

Dal diagramma 11.6 si ha la portata di acqua che circola nelle serpentine per unità di superficie

$$m_H / A_F = 0.0023 \text{ kg/s/m}^2$$

in funzione della somma  $\beta_1 + \beta_2 = 87$  e del salto termico dell'acqua  $q_V - q_R = 9 \text{ K}$ ; dove il coefficiente  $\beta_1 = 6$  è dato dal diagramma 11.7 in corrispondenza di  $R_L = 1.723 \text{ m}^2\text{K/W}$  e  $q_i - q_L = 10 \text{ K}$  ed il coefficiente  $\beta_2 = 81$  è dato dal diagramma 11.8a (per  $q$  inferiore a 100 W/m<sup>2</sup>) in corrispondenza di  $q = 74 \text{ W/m}^2$  e del rapporto  $R_L/R_o = 1.723/0.132 = 13.05$ .

Quindi la portata effettiva è

$$m_H = 0.0023 \text{ kg/s/m}^2 \cdot 27 \text{ m}^2 = 0.0621 \text{ kg/s}$$

Nota infine la lunghezza complessiva delle serpentine  $L = 100 \cdot A_F / T = 100 \cdot 27/20 = 135 \text{ m}$  si può determinare la perdita di carico  $D_p$  e la velocità dell'acqua  $v$  nella condotta dal diagramma 6.2 per il tubo Unidelta PEX 17x2.0 (UNI 9338) alla temperatura di 50°C:

$$\Delta p/L = 2.6 \text{ m/100m} \quad \text{da cui} \quad \Delta p = 3.5 \text{ m} = 0.35 \text{ bar}$$

$$v = 0.47 \text{ m/s}$$

Ultimo calcolo è quello relativo al flusso termico verso il basso che è dato dall'espressione 11.10:

$$q_2 = \beta_1 + \beta_2 - q = 87 - 74 = 13 \text{ W/m}^2$$

## Esempio 2

Si consideri la stessa struttura del pavimento dell'esempio precedente e si voglia calcolare la resa dell'impianto di riscaldamento considerando un passo  $T = 25 \text{ cm}$ , inoltre:

$q_i = 24^\circ\text{C}$	Temperatura ambiente del locale
$q_V = 50^\circ\text{C}$	Temperatura di mandata dell'acqua del circuito
$q_R = 40^\circ\text{C}$	Temperatura di ritorno dell'acqua del circuito

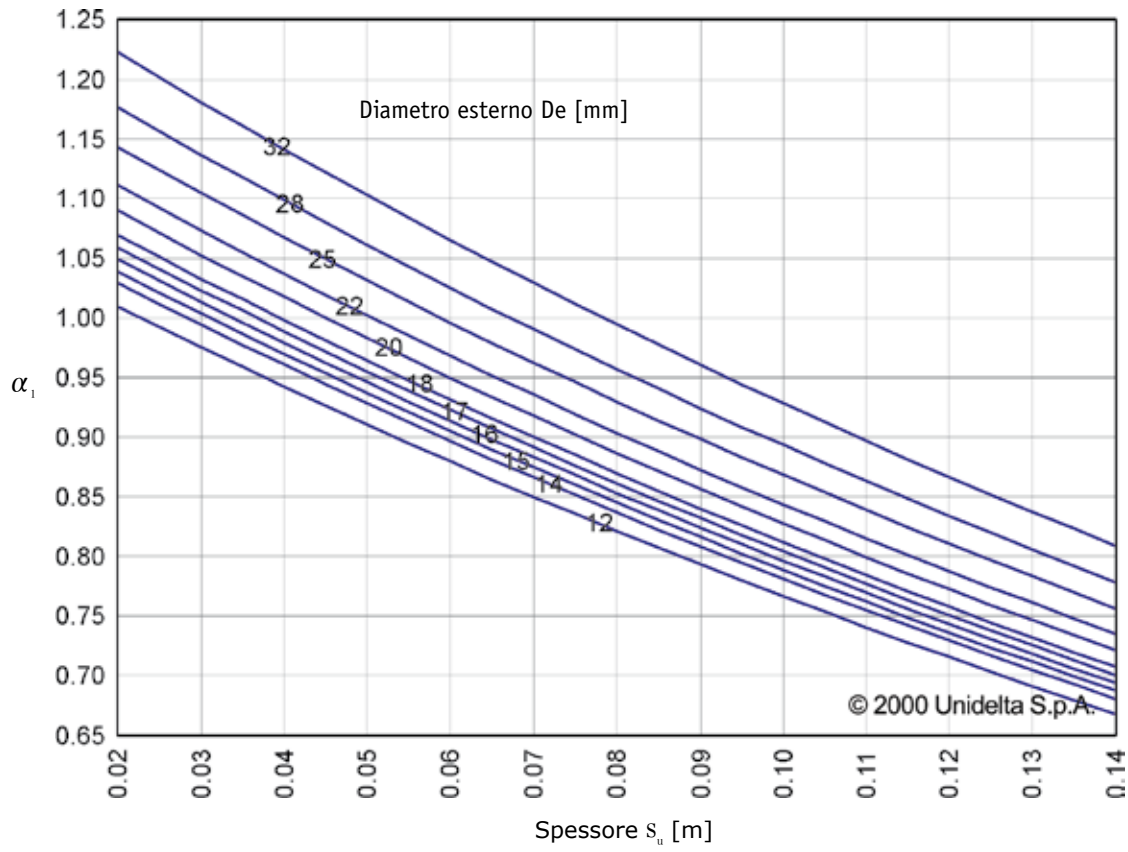
I coefficienti  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono quelli dell'esempio precedente mentre il coefficiente  $\alpha_3 = 0.634$  e  $D_{qH} = 20.5$ , la resa risulta essere:

$$q = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \Delta\theta_H = 1.02 \cdot 6.45 \cdot 0.634 \cdot 20.5 = 85.5 \text{ W/m}^2$$

se il passo venisse ridotto a  $T = 20 \text{ cm}$  si avrebbe un coefficiente  $\alpha_3 = 0.722$  ed una resa maggiore:

$$q = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \Delta\theta_H = 1.02 \cdot 6.45 \cdot 0.722 \cdot 20.5 = 97.8 \text{ W/m}^2$$

**DIAGRAMMA 11.1**



**DIAGRAMMA 11.2**

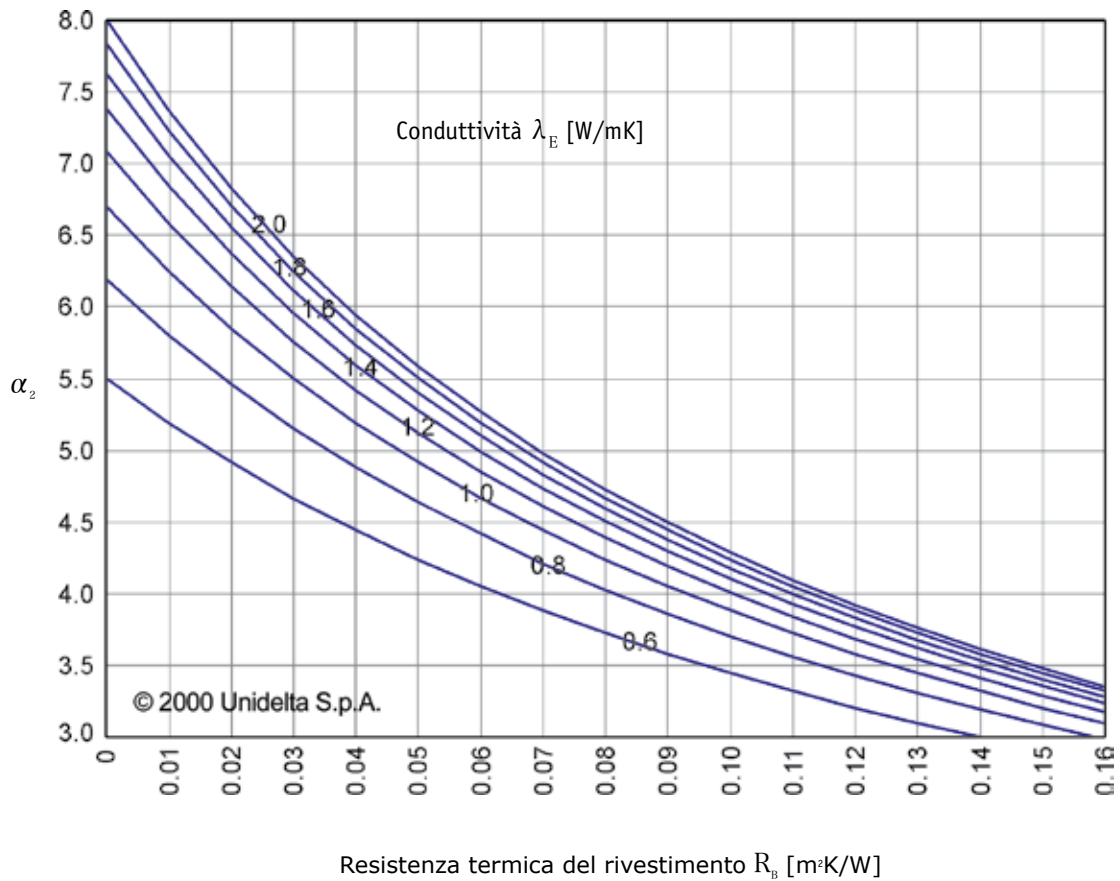


DIAGRAMMA 11.3

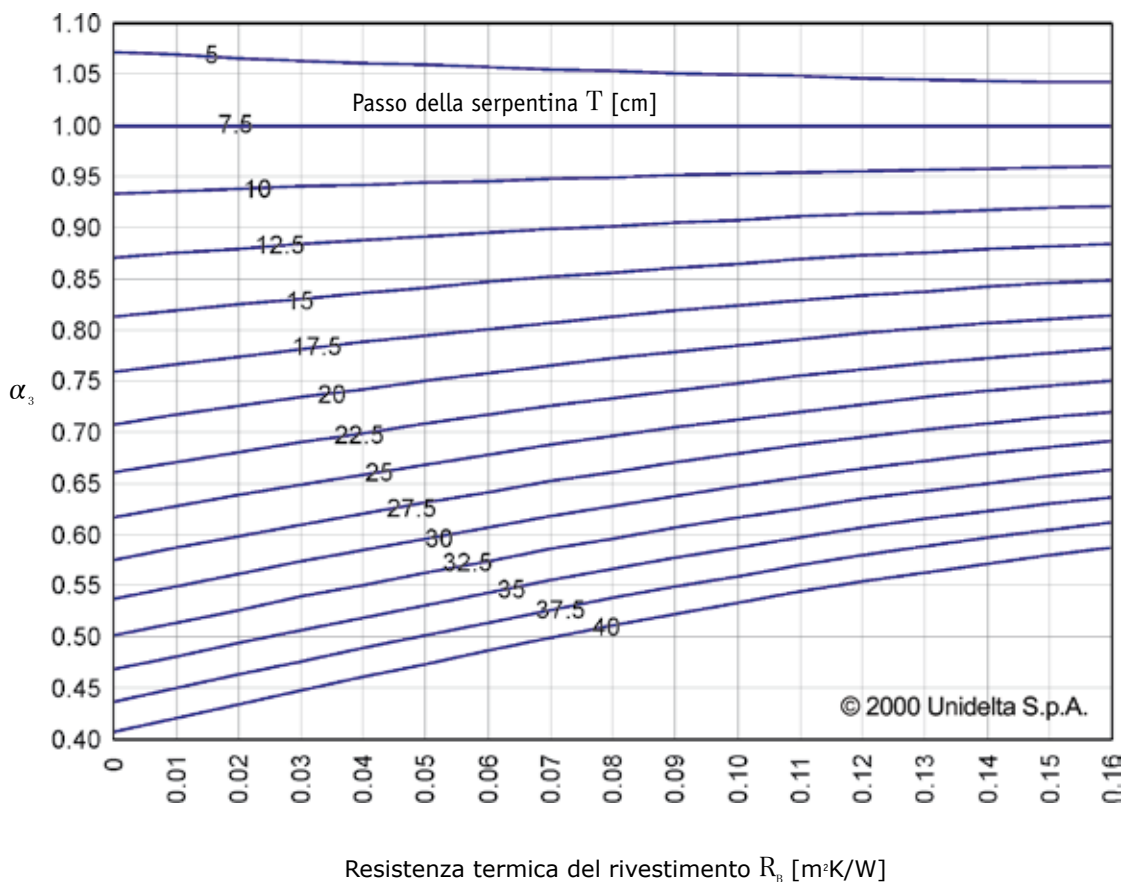
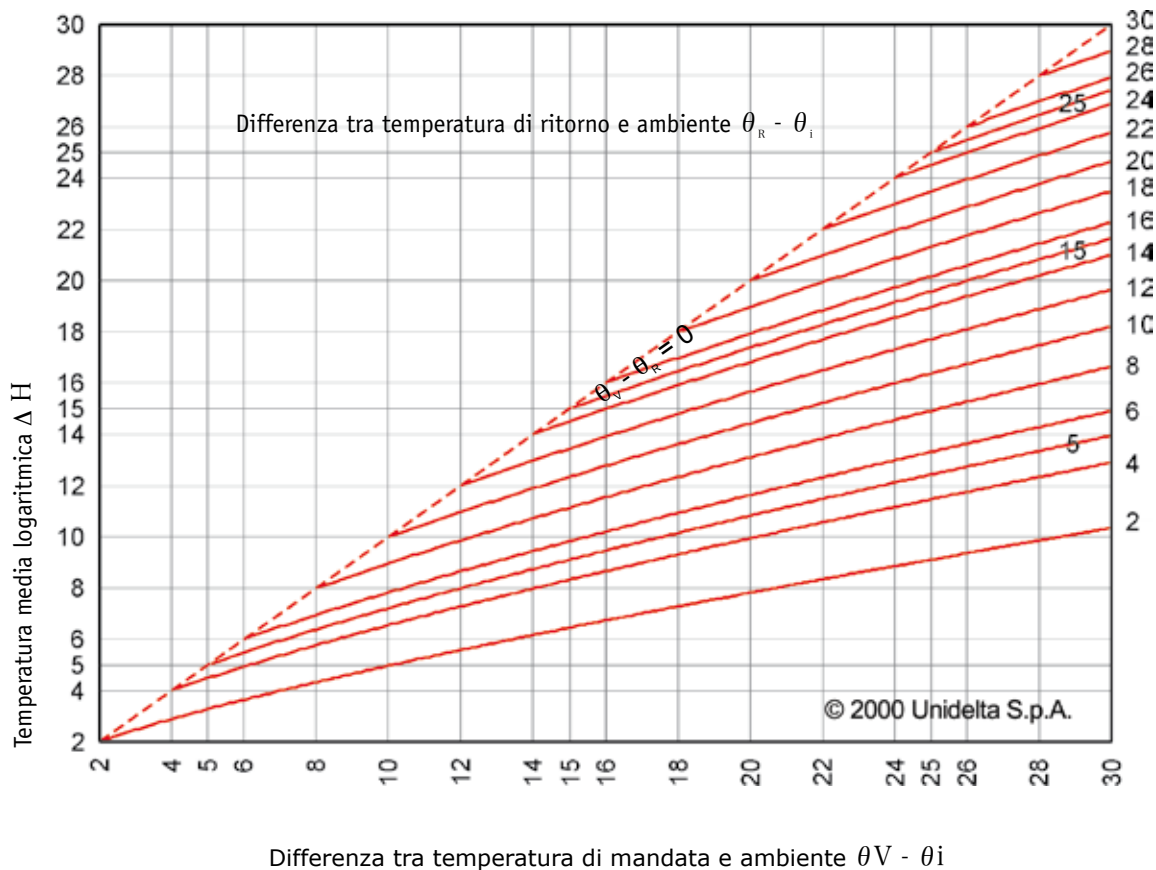
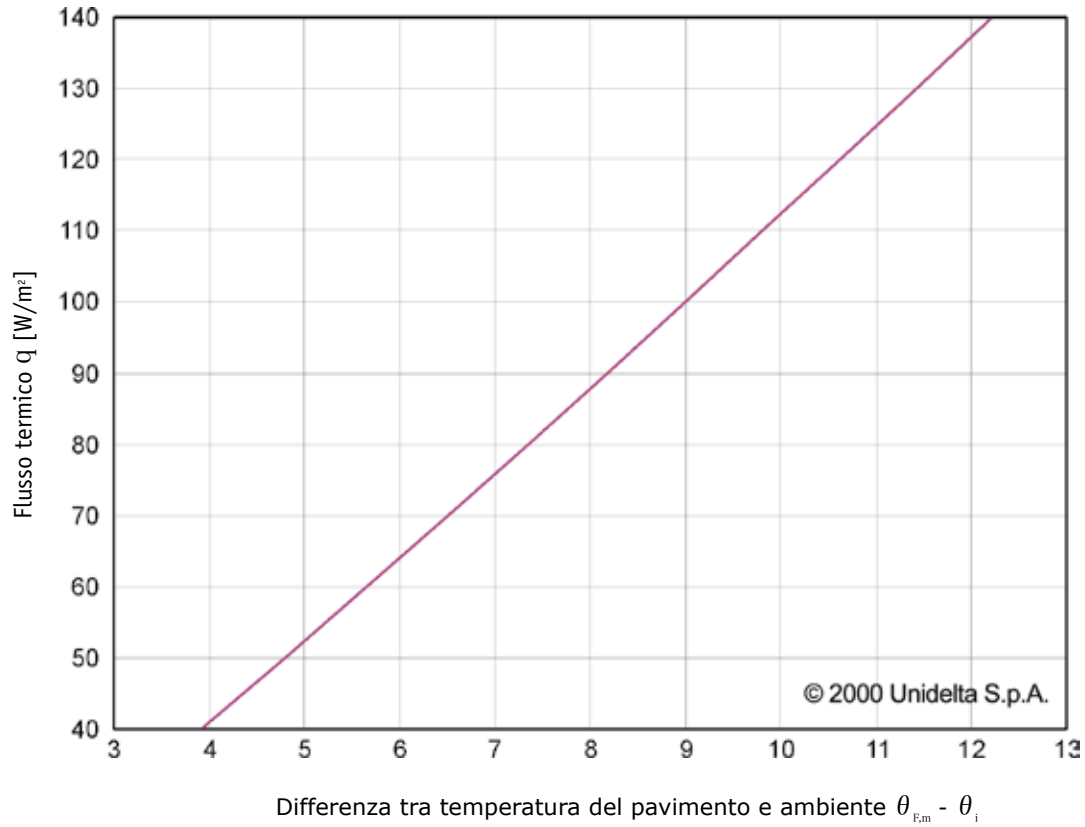


DIAGRAMMA 11.4



**DIAGRAMMA 11.5a. FLUSSO TERMICO INFERIORE A 140 W/m²**



**DIAGRAMMA 11.5b. FLUSSO TERMICO SUPERIORE A 140 W/m²**

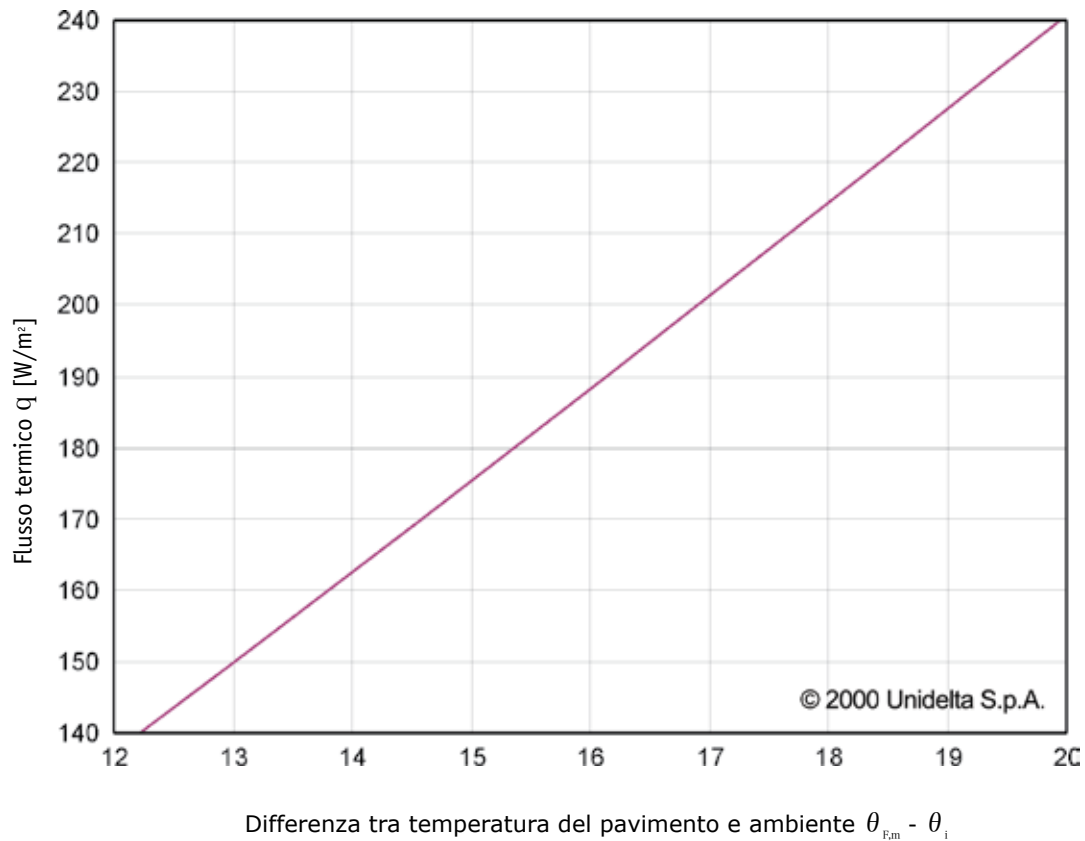


DIAGRAMMA 11.6

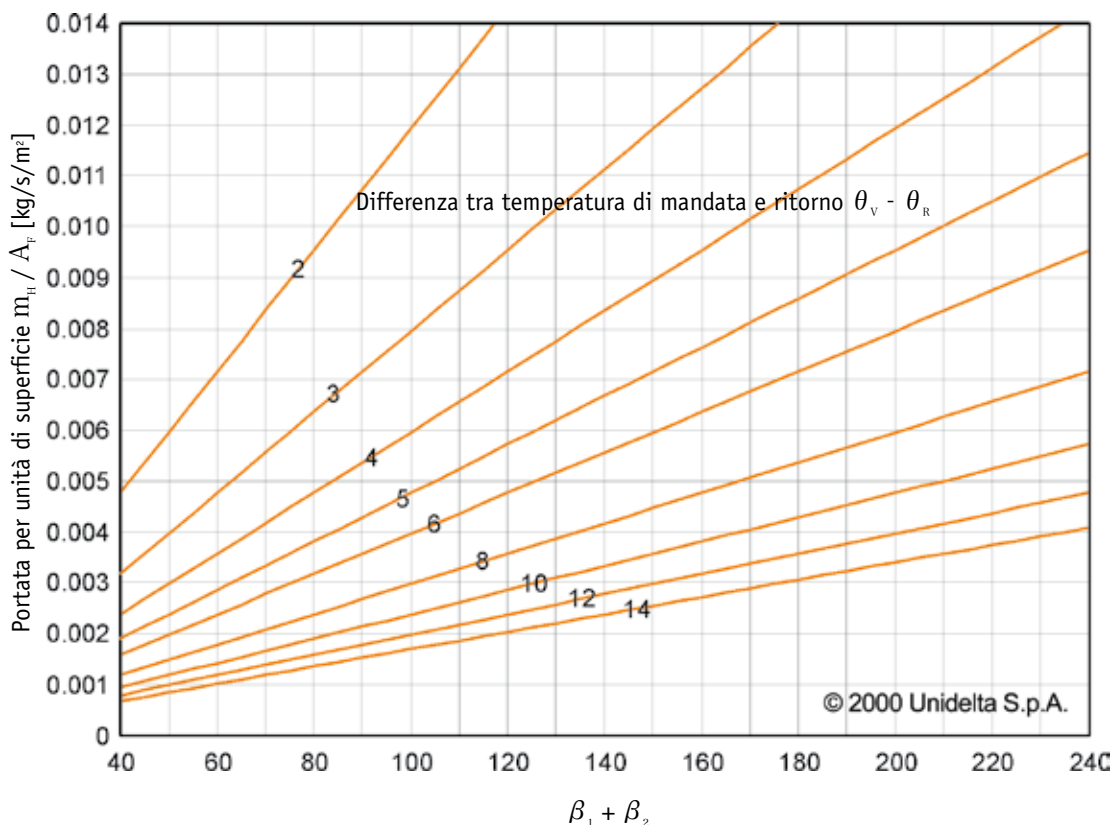
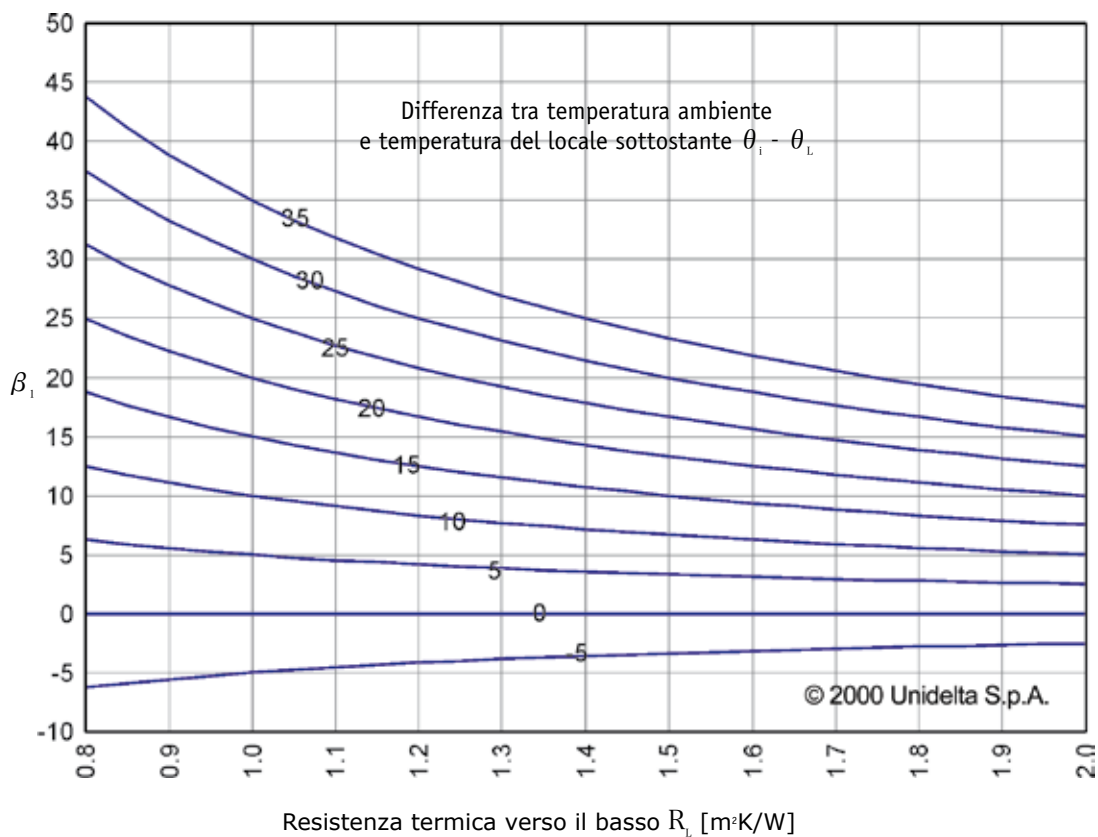
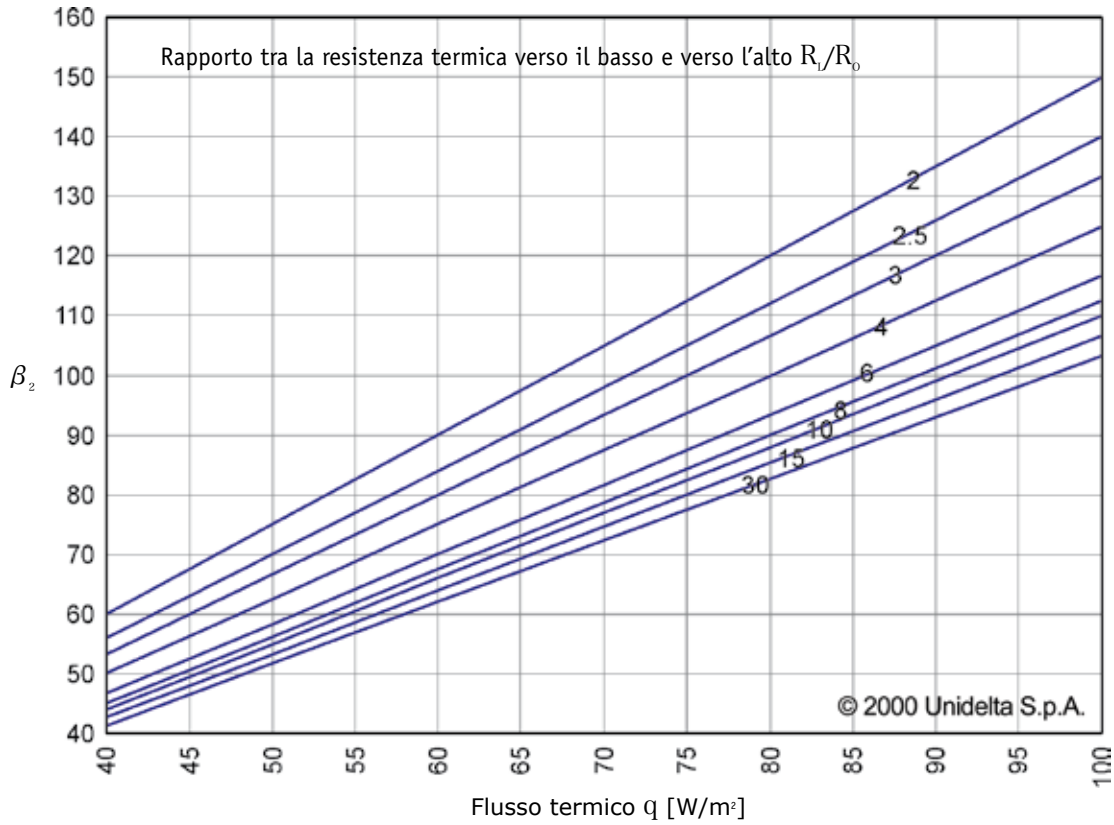


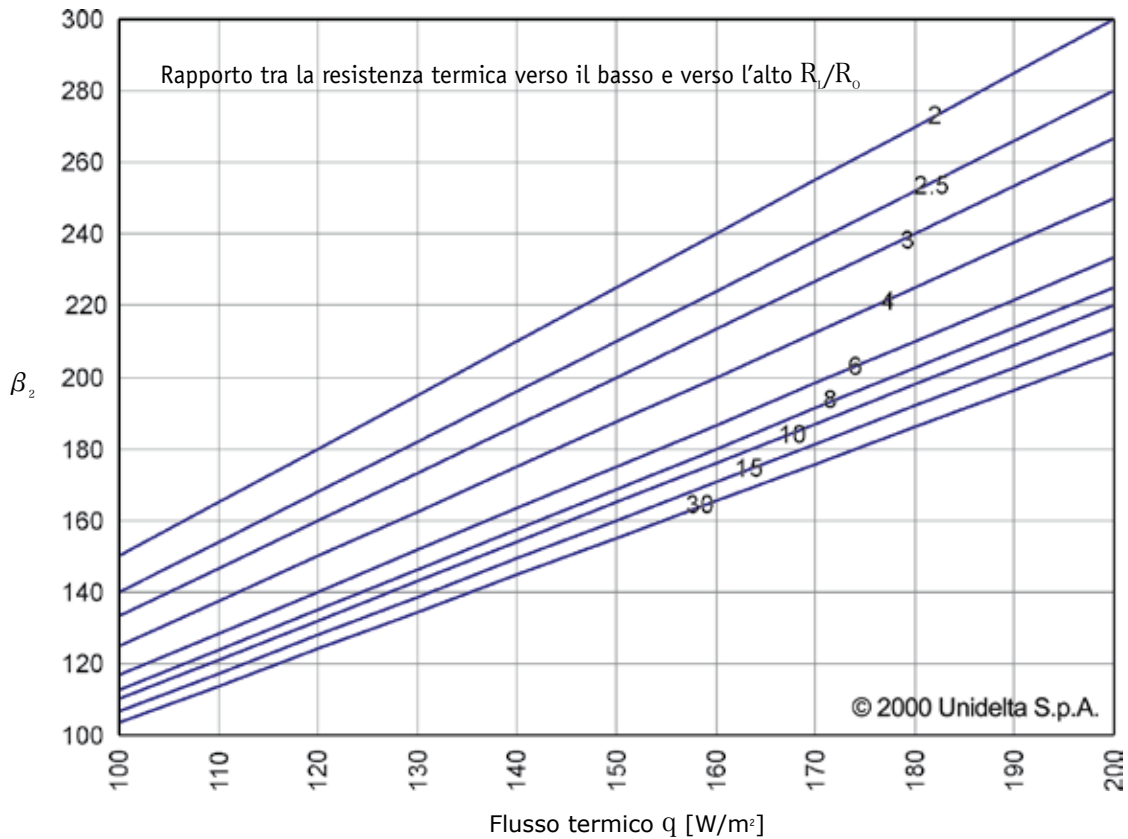
DIAGRAMMA 11.7



**DIAGRAMMA 11.8a. FLUSSO TERMICO INFERIORE A 100 W/m²**



**DIAGRAMMA 11.8b. FLUSSO TERMICO SUPERIORE A 100 W/m²**



## TABELLE PER DIMENSIONAMENTO

### Quantità di tubo - passo di posa

La norma europea ISO 7730 limita le temperature superficiali da 19° a 29° C nei luoghi interessati al calpestio frequente.

Ambiente	temp.sup.max (°C)
Industria	27
Abitazioni o uffici	29
Bagni - Piscine	32
Zone marginali	35

Passo (mm)	5	7,5	10	15	20	22,5	30	35
Tubo (m/m²)	20	11	10	7	5	5	3,5	3

### Rese superficiali con rivestimento ceramica 10 mm

Dati di progetto	Unità di misura	Valore
Spessore massetto sopra i tubi	cm.	6
Temperatura del locale da riscaldare	°C	20
Temperatura del locale sottostante	°C	10
Temperatura di mandata Tv	°C	37
Temperatura di ritorno Tr	°C	32
Resistenza termica rivestimento	m²/Kw	0,016
Conduttività massetto	W/mK	1,28
Resistenza termica totale verso il basso	m²/Kw	1,723

Passo (cm)	5	7,5	10	15	20	22,5	30	35
Resa sup. W/m²	92,34	86	81,12	71	63	58	46	43
Temp.sup. (C°)	28,2	27,5	27	26,5	25,5	25	24	23

### Rese superficiali con rivestimento legno 12 mm

Dati di progetto	Unità di misura	Valore
Spessore massetto sopra i tubi	cm.	6
Temperatura del locale da riscaldare	°C	20
Temperatura del locale sottostante	°C	10
Temperatura di mandata Tv	°C	37
Temperatura di ritorno Tr	°C	32
Resistenza termica rivestimento	m²/Kw	0,06
Conduttività massetto	W/mK	1,28
Resistenza termica totale verso il basso	m²/Kw	1,723

Passo (cm)	5	7,5	10	15	20	22,5	30	35
Resa sup. W/m²	70	67	62,11	56	50,21	48	41	36
Temp.sup. (C°)	26,5	26	25,8	25,3	24,8	24,5	24	23



**Clima Plast S.r.l. :: Via Roveredo 10/A - 33170 Pordenone :: Tel.: +39 0434 371219 :: Fax: +39 0434 553531  
E-mail: [info@climaplast.it](mailto:info@climaplast.it) :: Website: [www.climaplast.it](http://www.climaplast.it)**