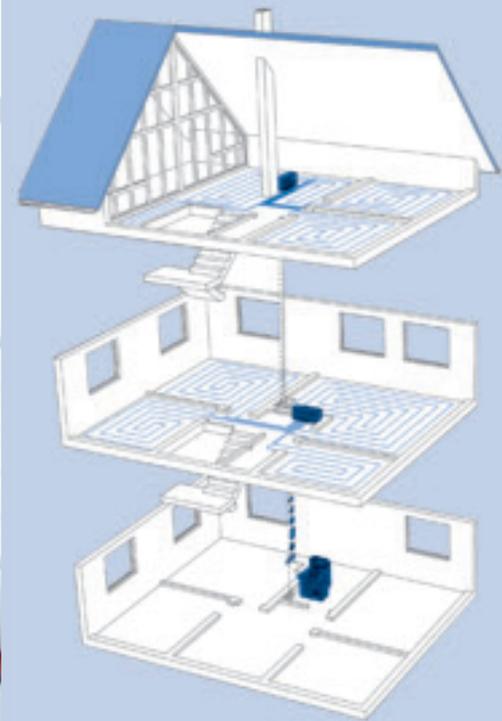


## Documentazione tecnica per il progetto



## Impianti di riscaldamento e raffrescamento a pannelli radianti per uso civile

Il calore è il nostro elemento

**Buderus**



<b>1</b>	<b>Sistemi di riscaldamento e raffrescamento a pannelli radianti .....</b>	<b>3</b>
1.1	Sistemi a bassa temperatura.....	3
1.2	Impianti di riscaldamento a pannelli radianti .....	5
1.3	Impianti di riscaldamento e raffrescamento a pannelli radianti Buderus .....	5
1.3.1	Le condizioni per ottenere il reale comfort termico .....	5
1.3.2	Funzionamento dell'impianto di raffrescamento a pannelli radianti.....	6
1.3.3	Un confronto tra raffrescamento e condizionamento .....	6
<b>2</b>	<b>Principi di base .....</b>	<b>7</b>
2	Principi teorici di base per il calcolo dell'impianto .....	7
<b>3</b>	<b>Materiali .....</b>	<b>9</b>
3	Verifica delle condizioni della costruzione e scelta dei materiali .....	9
3.1	Altezza netta per la realizzazione dell'impianto a pavimento .....	9
3.2	Tipo di pannello isolante .....	10
3.2.1	Criteri generali .....	10
3.2.2	Isolamento termico .....	10
3.2.3	Carichi statici .....	12
3.2.4	Isolamento acustico .....	12
3.2.5	Criteri per la scelta .....	13
3.3	Tubazioni dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento a pavimento .....	13
3.3.1	Il sistema tubo - massetto .....	13
<b>4</b>	<b>Progetto .....</b>	<b>15</b>
4	Progetto dell'impianto a pavimento .....	15
4.1	Calcolo dell'impianto di riscaldamento a pavimento .....	15
4.1.1	Esempio di guida per il calcolo .....	15
4.1.2	Tabella di calcolo: locali .....	16
4.1.3	Tabella di calcolo: inserimento dati locali .....	17
4.1.4	Tabella di calcolo: circuiti .....	18
4.1.5	Tabella di calcolo: circuiti .....	19
4.1.6	Tabella di calcolo: riepilogo .....	20
4.2	Guida per l'esecuzione del progetto .....	21
4.2.1	Inserimento dati locali .....	21
4.2.2	Allunghi di circuiti estranei nel locale .....	21
4.2.3	Riepilogo potenza .....	22
4.2.4	Quota di potenza da assegnare alle zone perimetrali e interne .....	23
4.2.5	Scelta del passo di posa dell'impianto .....	25
4.2.6	Idraulica dei circuiti .....	27
4.2.7	Dimensionamento del vaso di espansione a membrana .....	29
4.2.8	Emissioni termiche .....	31
<b>5</b>	<b>Impianti di riscaldamento e raffrescamento a pannelli radianti .....</b>	<b>32</b>
5	Impianti a pannelli radianti a pavimento .....	32
5.1	Criteri per la scelta .....	32
5.2	Ingombro minimo dei sistemi compreso di massetto, pavimentazione esclusa .....	33



## 1 Sistemi di riscaldamento e raffrescamento a pannelli radianti

### 1.1 Sistemi a bassa temperatura

Buderus offre un'ampia gamma di caldaie a bassa temperatura e a condensazione nonché sistemi di termoregolazione di ultima generazione, che consentono il massimo sfruttamento dell'energia del combustibile. Ciò comporta un chiaro risparmio economico quantificabile in circa un 38% della spesa sostenuta per il riscaldamento, rispetto ad un sistema tradizionale. Questo risparmio risulta ancor più allettante dal fatto che non si rinuncia al benessere in ambiente, anzi, lo si incrementa. Non è poi trascurabile il fatto che, consumando meno combustibile per il riscaldamento a parità di comfort termico, si inquina meno con benefici indiretti, ma con la certezza di avere contribuito ad un ambiente più pulito.

Con le caldaie della gamma Buderus, potendo lavorare senza limiti di temperatura minima di ritorno, si ottengono basse perdite, essendo queste direttamente correlate alla temperatura dell'acqua dell'impianto. Naturalmente è tanto maggiore il rendimento dell'impianto, tanto più ampie sono le superfici radianti installate in ambiente. Superfici ampie consentono infatti basse temperature del medio scaldante. Positivi effetti collaterali delle ampie superfici radianti sono le basse velocità dell'aria in ambiente e la maggior quota di scambio termico per radiazione con gli stessi esseri umani. Questi fattori consentono di raggiungere una situazione di benessere in ambiente anche con temperature dell'aria inferiori ai 20°C, tipicamente già con 18 – 19°C. Si instaura quindi un effetto virtuoso consistente nella riduzione delle dispersioni dell'edificio e nell'aumento del comfort ambientale.

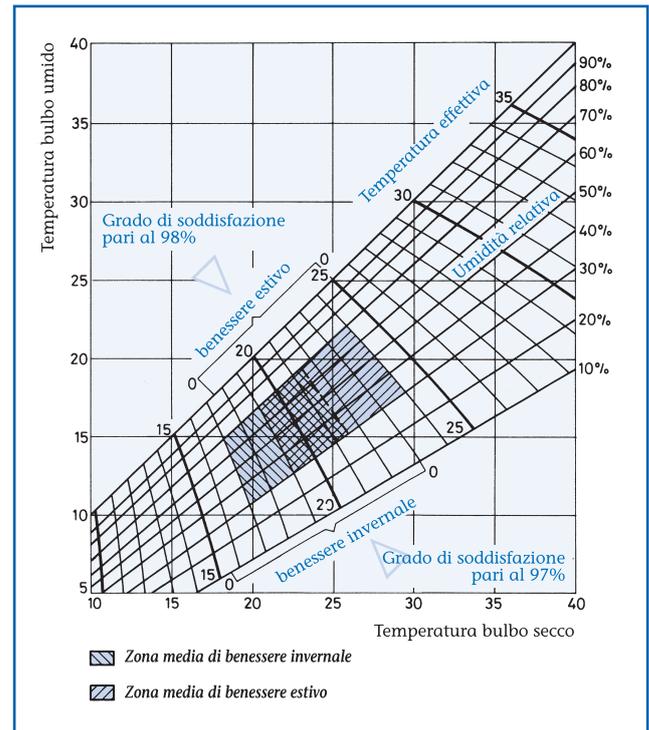
Il vantaggio è evidente anche per il raffrescamento: per percepire un clima confortevole basta attestarsi su un valore di temperatura dell'acqua di 16-18°C, risultato che un impianto di condizionamento classico raggiunge a 7°C.

In inverno, attraverso l'acqua calda che circola all'interno dei circuiti radianti, il sistema scalda l'ambiente in ragione delle condizioni climatiche dei locali desiderate. In estate il calore è invece ceduto dall'ambiente all'acqua fredda che circola nelle tubazioni dell'impianto.

#### Cos'è il comfort?

Il comfort termico si ha quando il corpo riesce a smaltire il proprio calore metabolico nelle giuste proporzioni tra i quattro modi di scambio termico:

- irraggiamento, scambio per differenza di temperatura tra corpi in un ambiente
- convezione, scambio termico legato a dei moti del fluido che circondano un corpo
- conduzione, lo scambio che avviene attraverso il contatto tra corpi a temperature diverse
- evaporazione, sottrazione di calore da un corpo dovuta all'evaporazione del fluido sulla sua superficie (calore latente, sudore)

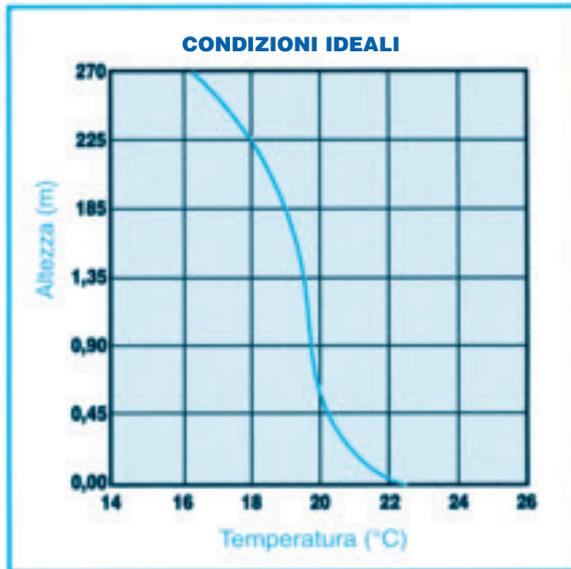


3/1 Diagramma di benessere ambientale

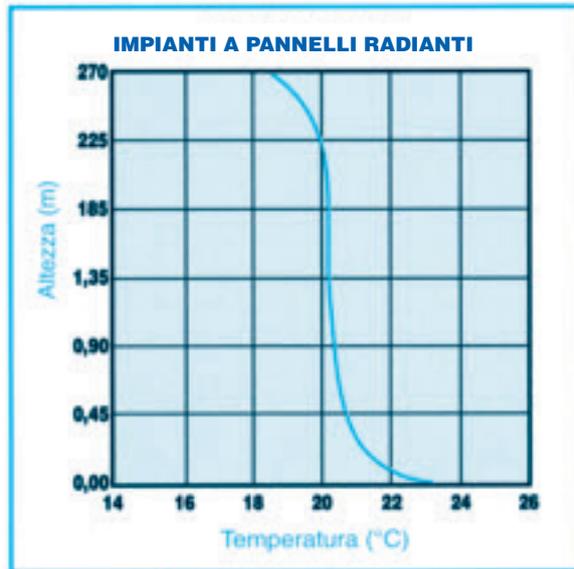
Da anni si vanno perfezionando studi atti a determinare un unico parametro di misura del benessere in ambiente, per meglio definire l'obiettivo da raggiungere nella progettazione di un sistema di regolazione termoigrometrica della casa. I risultati si possono riassumere nel diagramma (→ 3/1).

Ulteriori studi sul benessere in ambiente hanno posto importanti limiti alla velocità dell'aria (tipicamente inferiore a 0,15 m/s a circa 1,5-1,8 m dal pavimento), e quindi dei moti convettivi dovuti a gradienti di temperatura. Elevate differenze di temperatura in ambiente, provocate, ad esempio dai convenzionali termosifoni funzionanti ad alta temperatura, così come importanti differenze di temperatura tra ambienti riscaldati e non riscaldati, causano moti dell'aria che vanno a sottrarre energia termica al corpo che lambiscono. Ciò provoca sensazione di disagio anche con temperature medie in ambiente superiori ai 20°C. Infatti, l'uomo posto in una stanza risulta una fonte di calore grazie ai suoi 36,5°C e l'aria che lo sfiora anche a 22°C, gli sottrae calore. Lasciare una stanza non riscaldata in una casa, significa avere spifferi in prossimità della soglia e basse temperature del muro confinante con le stanze riscaldate, ovvero ancora moti che causano un certo senso di disagio agli occupanti della stanza.

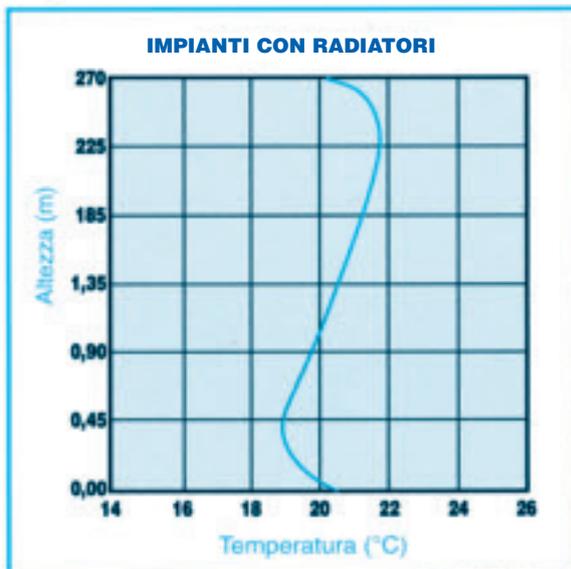
Il risultato degli studi sopraccitati è la conoscenza della ideale distribuzione delle temperature come riportato in (→ 4/1) raffigurante il confronto con altri sistemi di riscaldamento. Risulta evidente, perché il comfort negli ambienti con pannelli radianti conferisce agli occupanti della stanza una sensazione di benessere.



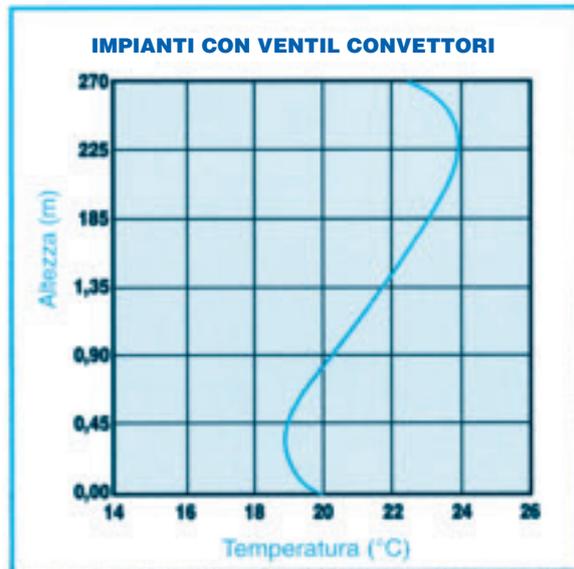
Condizioni ideali



Impianto a pannelli radianti



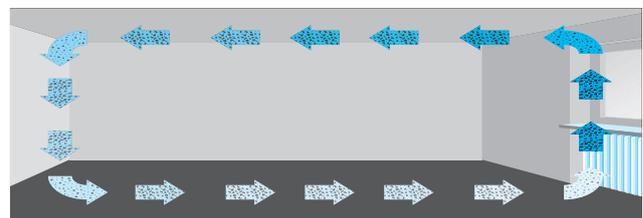
Impianto con radiatori



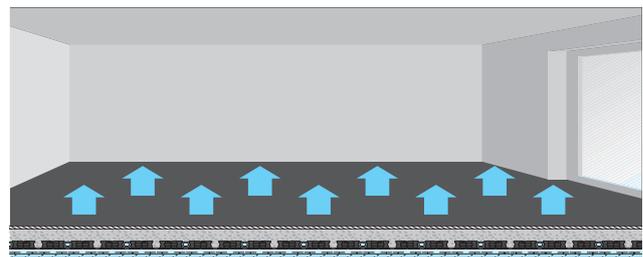
Impianto con ventilconvettori

## 4/1 Distribuzione della temperatura in ambiente

Non va dimenticato che sistemi di riscaldamento ad alta temperatura provocano la combustione del pulviscolo, presente normalmente in tutte le abitazioni, che si deposita sulla superficie dei radiatori. Tali particelle combuste provocano secchezza della bocca, irritazioni alla gola, al naso e agli occhi. Forti moti convettivi, inoltre, provocano il sollevamento della polvere, ma soprattutto la sua diffusione nell'ambiente, con il conseguente insorgere di fastidiose allergie nei soggetti predisposti. Con il riscaldamento a pavimento vengono limitati i moti convettivi come esemplificato in (→ 4/2).



Impianto a radiatori con circolazione polvere per moti convettivi.



4/2 Circolazione della polvere nei moti convettivi

## 1.2 Impianti di riscaldamento a pannelli radianti

L'impianto di riscaldamento a pannelli radianti rappresenta l'esempio migliore di riscaldamento a bassa temperatura tramite ampie superfici radianti, essendo distribuito su tutta la superficie dell'abitazione. Il funzionamento dell'impianto può avvenire quindi a temperature del medio scaldante (tipicamente acqua) di circa 30° - 40°, fatto che rappresenta il miglior presupposto per l'economia d'esercizio dell'impianto.

L'impianto di riscaldamento a pannelli radianti classico consiste normalmente in un sistema di tubazioni, generalmente in materiale plastico, organizzate in anelli o circuiti, vincolate ad uno strato d'isolante che poggia sul sottofondo grezzo, e successivamente annegate nel massetto del pavimento. Il medio scaldante viene distribuito ai circuiti tramite un sistema di collettori, dotati di valvole che consentono l'impostazione della corretta portata ad ogni anello.

## 1.3 Impianti di riscaldamento e raffrescamento a pannelli radianti

Gli impianti a pannelli radianti possono essere utilizzati anche per il raffrescamento estivo.

Sicuramente i vantaggi più evidenti si ottengono sommando i benefici dell'impianto radiante nel funzionamento invernale a quello estivo. In questo caso infatti il costo di realizzazione viene ottimizzato dal fatto che con una unica soluzione si può ottenere il caldo d'inverno e il fresco d'estate, evitando di sostenere il costo di un doppio impianto.

Considerando poi i vantaggi in termini di consumi energetici e di potenze installate, l'utilizzo dei sistemi radianti per tutto l'anno garantisce di poter ammortizzare le spese di realizzazione in pochi anni.

Non trascurabile infine la possibilità di poter sfruttare fonti di energia alternativa, quali il solare o il geoter-

mico per alimentare l'impianto con fonti rinnovabili sia d'estate che d'inverno.

Perde perciò di significato approcciarsi ai sistemi radianti come ad impianti dedicati solo al riscaldamento o solo al raffrescamento, poichè il comportamento è efficace ed efficiente in tutte le stagioni.

Per un impianto di riscaldamento utilizzato anche per il raffrescamento estivo, lo schema di regolazione è quello base: un gruppo frigo in aggiunta al generatore di calore o in alternativa l'impiego di una pompa di calore.

Per il controllo dell'umidità relativa in ambiente è possibile collegare direttamente all'impianto una unità di deumidificazione ad aria neutra che verrà attivata direttamente dal sistema di regolazione.

### 1.3.1 Le condizioni per ottenere il reale comfort termico

La temperatura media delle superfici che circondano l'individuo (pavimento, pareti e soffitto) è il principale fattore che determina gli effetti benefici sul comfort.

Per entrare in equilibrio termico, e quindi raggiungere il comfort ideale durante la stagione calda, il nostro corpo necessita di essere raffreddato: l'obiettivo si raggiunge portando la temperatura media delle superfici alcuni gradi al di sotto della temperatura cutanea.

Abbassare la temperatura delle superfici in maniera proporzionata e controllata porta l'individuo a scambiare il proprio calore in eccesso secondo le modalità naturali dell'essere umano.

Evitare all'edificio di caricarsi energeticamente, permette al nostro corpo di smaltire il proprio surplus energetico: infatti la temperatura cutanea è di circa 34°C e può scambiare calore con superfici a temperatura più bassa. Il raffrescamento radiante si basa sullo stesso principio.

## 1.3.2 Funzionamento dell'impianto di raffreddamento a pannelli radianti

Con il raffreddamento radiante l'energia tra individuo e ambiente viene scambiata principalmente per irraggiamento e senza movimento dell'aria; inoltre la temperatura delle strutture risulta inferiore rispetto a quella ottenuta con impianti ad aria.

La temperatura del fluido nei pannelli radianti è compresa tra i 16 e i 18°C, quindi meno onerosa in termini energetici ed economici rispetto ad altre soluzioni idroniche con acqua a 7°C.

Inoltre i pannelli si comportano come un'enorme serbatoio di accumulo e la loro notevole inerzia termica

si traduce in una significativa riduzione della potenza frigorifera impegnata.

Per un corretto funzionamento del raffreddamento radiante risulta essenziale la gestione dell'umidità relativa dell'ambiente. Non tanto per evitare la condensa sul pavimento, scongiurata dalle regolazioni della temperatura del fluido in base al calcolo del punto di rugiada, ma per garantire le corrette condizioni igrometriche dell'aria.

## 1.3.3 Un confronto tra raffreddamento e condizionamento

Uno dei comuni equivoci legati ai sistemi di condizionamento è considerarli soluzioni che generano comfort: il condizionamento non raffredda la struttura dell'edificio, ma l'aria e di conseguenza il nostro corpo, che perde più calore di quanto riesce a generarne e quindi percepisce una sensazione di freddo.

I sistemi di condizionamento tradizionali devono necessariamente immettere nell'ambiente grandi quan-

tità di aria fredda che agiscono solamente sulla temperatura dell'aria e che richiedono ingenti risorse energetiche per raggiungere le basse temperature necessarie: a parità di condizioni, un impianto ad aria deve raggiungere la temperatura di 7°C per offrire lo stesso comfort che un sistema radiante fornisce con una temperatura del fluido pari a 16-18°C.

## 2 Principi teorici di base per il calcolo dell'impianto

La conoscenza delle grandezze fisiche e delle leggi che regolano lo scambio termico nell'impianto di riscaldamento a pavimento è indispensabile per l'esecuzione del progetto, anche se assistito da software implementato su PC.

### Potenza specifica verso l'alto

La potenza specifica verso l'alto emessa per unità di superficie  $q_u$  da un impianto a pavimento è una funzione della differenza tra le temperature della superficie del pavimento  $\theta_F$  e dell'aria ambiente  $\theta_i$  secondo la relazione:

$$q_u = 8,92 \times (\theta_F - \theta_i)^{1,1} \quad [W/m^2]$$

Sulla base di questa formula risulta evidente che la potenza specifica, ovvero la potenza per unità di superficie, non dipende da null'altro che dalla temperatura che la superficie radiante (pavimento) riesce a raggiungere. Questa infine è limitata superiormente dalla normativa europea vigente a 29° nelle zone occupate. Ciò comporta una potenza massima emessa di circa 100 W/m<sup>2</sup>. Alla luce di queste considerazioni si può affermare che 2 impianti, a parità di superficie e a parità di temperatura della superficie radiante, forniscono la stessa potenza.

### Potenza utile emessa verso l'alto

La potenza utile emessa verso l'alto  $Q_u$  [W] attraverso una superficie di area  $A$  [m<sup>2</sup>] è:

$$Q_u = q_u \times A \quad [W]$$

Da quest'ultima formula si può desumere che la potenza utile emessa dipende dall'estensione della superficie radiante.

### Potenza verso il basso

Contemporaneamente alla potenza utile emessa verso l'alto, l'impianto di riscaldamento a pavimento disperde verso il basso una potenza termica  $Q_b = q_b \times A$  [W]. La potenza specifica dispersa verso il basso  $q_b$  [W/m<sup>2</sup>] dipende: dal rapporto delle resistenze termiche dei vari strati della costruzione sopra ( $R_{\lambda a}$ ) e sotto ( $R_{\lambda b}$ ), dalle tubazioni che costituiscono il circuito dell'impianto, dalla differenza tra la temperatura dell'ambiente riscaldato  $\theta_i$  e quella dell'ambiente sottostante  $\theta_s$  e dalla potenza specifica utile verso l'alto. La relazione è:

$$q_b = q_u \left( \frac{R_{\lambda a}}{R_{\lambda b}} + \frac{\theta_i - \theta_s}{q_u \times R_{\lambda b}} \right) \quad [W/m^2]$$

Se la zona sottostante risulta facente parte dello stesso nucleo abitativo e a sua volta è riscaldata, non sempre la  $q_b$  risulta necessariamente dispersa.

### Resistenza termica

La resistenza termica  $R_{\lambda i} = d_i / \lambda_i$  [m<sup>2</sup> K/W] esprime la capacità di un certo materiale di opporsi alla trasmis-

sione del calore ed è tanto più elevata, cioè il materiale è tanto più un buon isolante, tanto più elevato è il suo spessore  $d_i$  [m], e tanto più è ridotta la sua conduttività termica  $\lambda_i$  [W/mK]. Un materiale composto di più strati ha una resistenza termica data dalla somma delle singole resistenze termiche  $R_{\lambda i}$  cioè:

$$R_{\lambda TOT} = R_{\lambda a} + R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2} + \dots + R_{\lambda b} = \\ = 1/\alpha_a + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + 1/\alpha_b \quad [m^2 K/W]$$

( $\alpha_a$  e  $\alpha_b$  sono i coefficienti di trasmissione termica convettiva rispettivamente della superficie superiore del rivestimento e inferiore della soletta dell'impianto).

### Potenza complessiva

La potenza complessiva  $Q_T$  [W] che quindi deve essere trasferita tramite il medio dell'impianto (in pratica dall'acqua calda), affinché attraverso una superficie  $A$  venga emessa la potenza utile verso l'alto  $Q_u$ , è data da:

$$Q_T = Q_u + Q_b \quad [W]$$

In pratica la potenza che il vettore energetico deve cedere, tiene conto del fabbisogno termico dei luoghi da riscaldare e della potenza termica verso il basso.

### Salto termico

Il salto termico dell'impianto  $\Delta\theta_{MR}$  è la differenza di temperatura tra l'acqua di mandata all'impianto  $\theta_M$  e quella di ritorno da esso  $\theta_R$ :

$$\Delta\theta_{MR} = (\theta_M - \theta_R) \quad [K]$$

### Portata d'acqua

La portata d'acqua  $\dot{m}$  da fornire al circuito è in relazione con la potenza totale  $Q_T$  e il salto termico  $\Delta\theta_{MR}$  tra mandata e ritorno impianto tramite la relazione:

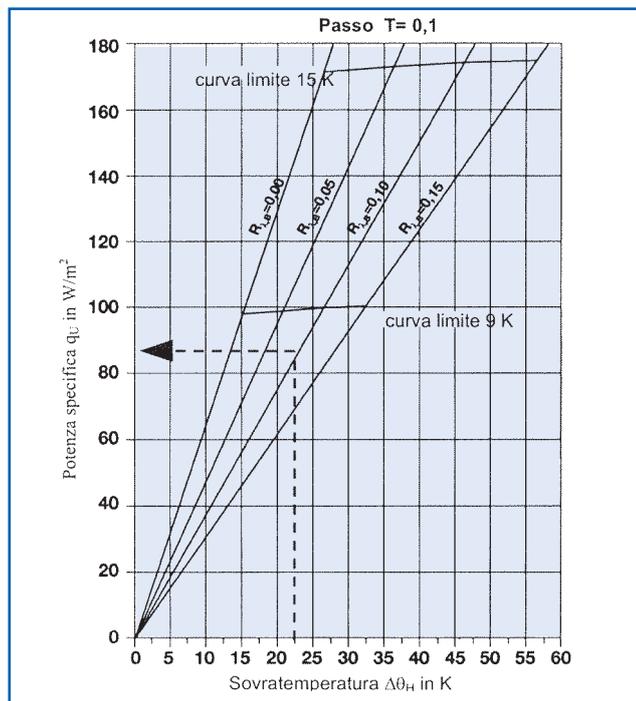
$$\dot{m} = Q_T / (\Delta\theta_{MR} \times c) \quad [kg/h]$$

dove  $c = 1,1627$  [Wh/kg K] è la capacità termica dell'acqua.

I diagrammi di resa ( $\rightarrow$  8/1) dell'impianto di riscaldamento a pavimento riportano la relazione tra potenza specifica utile  $q_u$ , sovratemperatura media  $\Delta\theta_H$  e interasse o passo di posa  $T$  [m] dei tubi dell'impianto. La potenza specifica utile  $q_u$  aumenta al ridursi del passo di posa  $T$  e all'aumentare della sovratemperatura  $\Delta\theta_H$ .

La curva limite, nell'insieme delle curve caratteristiche, fornisce la relazione tra il salto termico medio fra le temperature dell'aria e dell'acqua e l'emissione aerea per caduta di temperatura limite, con  $\Delta\theta_{MR} = 0$ .

Sulla base di questa relazione la temperatura ammissibile massima della superficie del pavimento raggiunge il valore limite di temperatura superficiale, considerato accettabile dal punto di vista fisiologico, di 29° per le zone occupate e 35° per le zone periferiche.



8/1 Diagramma di resa in base a passo di posa, rivestimento e sovratemperatura

### Sovratemperatura media

La sovratemperatura media dell'acqua dell'impianto  $\Delta\theta_H$ , rispetto alla temperatura dell'aria dell'ambiente  $\theta_i$ , consente di mettere in relazione la potenza specifica emessa con le temperature di mandata  $\theta_M$  e di ritorno  $\theta_R$  dell'impianto, ovvero il cosiddetto salto termico  $\Delta\theta_{MR} = (\theta_M - \theta_R)$  tramite le relazioni:

$$\Delta\theta_H = \frac{(\theta_M - \theta_R)}{\ln\left(\frac{\theta_M - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}\right)}$$

$$= \frac{\Delta\theta_{MR}}{\ln\left(\frac{\theta_M - \theta_i}{\theta_M - \Delta\theta_{MR} - \theta_i}\right)} \text{ [K]}$$

### Lunghezza del tubo

La lunghezza del tubo  $L$  necessaria a completare un circuito posato con passo  $T$  su una superficie  $A$  è:

$$L = A / T \text{ [m]}$$

La differenza di pressione unitaria  $\Delta P_u$  [mbar/m], che è necessario fornire all'acqua per farle vincere le resistenze idrauliche distribuite in un metro di tubo

dell'impianto di riscaldamento a pavimento, dipende dalla sezione utile interna del tubo e in maniera quadratica dalla portata, ed è deducibile dai diagrammi caratteristici dei tubi o dalle tabelle, conoscendo la rugosità degli stessi.

### Differenza di pressione

La differenza di pressione  $\Delta P$  di un intero circuito dipende da  $\Delta P_u$  e dalla lunghezza del circuito:

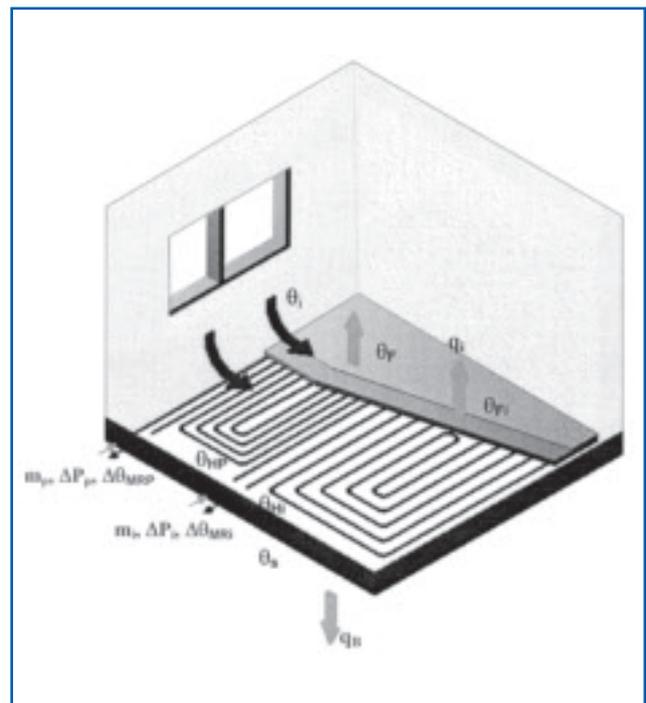
### Temperatura di miscelazione

La temperatura di miscelazione  $\theta_{12}$  di due fluidi con

$$\Delta P = L \times \Delta P_u \text{ [mbar]}$$

portate  $m_1$  e  $m_2$  e rispettive temperature  $\theta_1$  e  $\theta_2$  è pari alla media pesata delle temperature (trattandosi dello stesso fluido si può trascurare la capacità termica):

$$\theta_{12} = (\theta_1 \times m_1 + \theta_2 \times m_2) / (m_1 + m_2) \text{ [}^\circ\text{C]}$$



8/2 Grandezze in gioco nell'impianto di riscaldamento a pavimento

### 3 Verifica delle condizioni della costruzione e scelta dei materiali

Il progetto di un impianto a pannelli radianti consiste sostanzialmente nella:

- Verifica preliminare delle condizioni necessarie per la realizzazione dell'impianto intese come adeguatezza della struttura (es. altezza minima del grezzo all'altezza finale a pavimento finito), accettabilità dei costi, disponibilità dei tempi necessari alla realizzazione.

- Calcolo esecutivo e verifica del corretto svolgimento dei lavori.

Da questi due passi derivano come conseguenza naturale i criteri per la scelta del sistema e dei materiali più adatti alla buona riuscita dell'impianto stesso.

#### 3.1 Altezza netta per la realizzazione dell'impianto a pavimento

Per la realizzazione dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento a pavimento deve essere disponibile un'altezza netta  $h$  utile che si calcola ( $\rightarrow$  9/1) come segue:

$$h = a + b + c + d \text{ [cm]}$$

dove:

- $a$  = altezza del materassino isolante, che dipende dal grado d'isolamento termico e acustico necessario
- $b$  = altezza del tubo
- $c$  = altezza del massetto misurata a partire dalla superficie superiore del tubo fino alla superficie inferiore del rivestimento
- $d$  = altezza del rivestimento superficiale e del collante

*Esempio con calcestruzzo additivato:*

*Nel caso in cui sia necessario un materassino isolante di 30 mm, l'altezza minima per installare l'impianto a pannelli radianti con un tubo da 16 mm e 15 mm di rivestimento e collante è pari a 106 mm, in quanto occorrono almeno 45 mm di massetto al di sopra del tubo scaldante.*

$$30 + 16 + 15 + 45 = 106 \text{ mm}$$

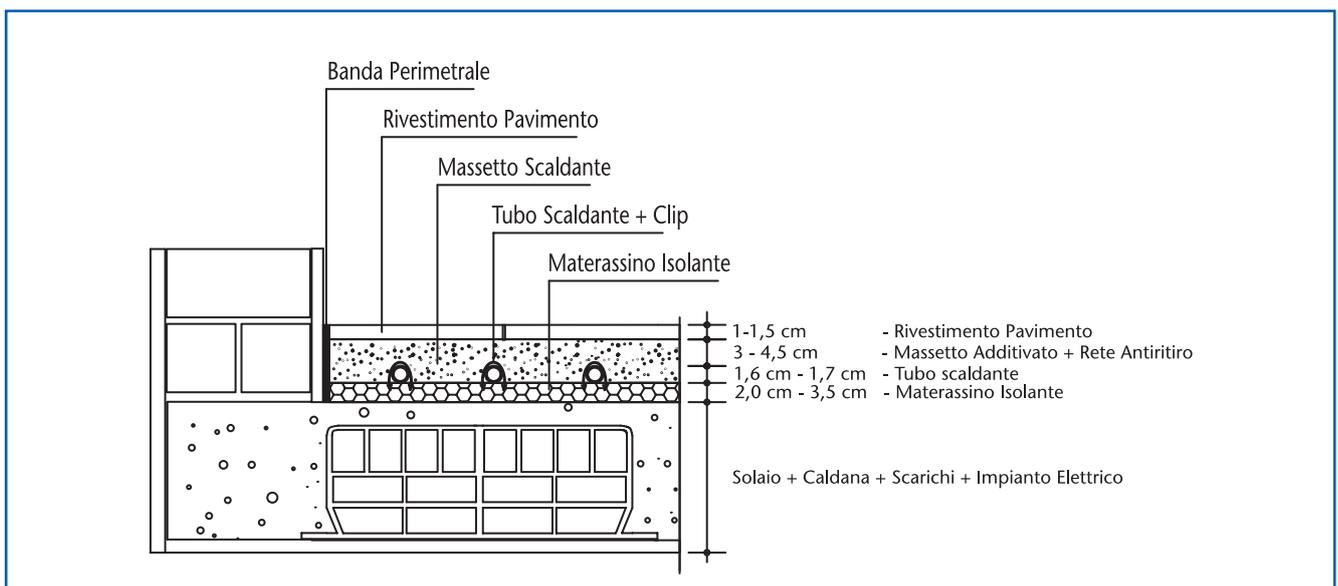
*Esempio con autolivellante:*

*Nel caso in cui sia necessario un materassino isolante di 30 mm, l'altezza minima per installare l'impianto a pannelli radianti con un tubo da 16 mm e 15 mm di rivestimento e collante è pari a 91 mm, in quanto occorrono almeno 30 mm di autolivellante con rete antiritiro al di sopra del tubo scaldante.*

$$30 + 16 + 15 + 30 = 91 \text{ mm}$$

Per altezza "netta" si intende che le tubazioni per gli impianti sanitari e canalette passacavi per l'impianto elettrico e altre tubazioni si considerano già posate sotto al livello inferiore e già ricoperte da una gettata, in modo tale da ottenere una superficie liscia e piana. Qualora questa soluzione non fosse praticabile è bene accordarsi preventivamente con gli artigiani interessati, in modo che la posa dei tubi per gli impianti sanitari ed elettrico avvenga nelle pareti perimetrali.

La superficie dove appoggia l'impianto deve essere piana, asciutta e pulita. Non devono esserci rilievi puntiformi che possono causare riduzioni dello spessore del massetto o causare trasmissione o riflessione dei rumori. In edifici vecchi è da verificare che i solai possano reggere il peso dell'impianto. Come dato si consideri che un massetto di 6,5 cm di altezza ha un peso di ca. 130 Kg/m<sup>2</sup>.



9/1 Struttura dell'impianto di riscaldamento a pavimento Buderus

## 3.2 Tipo di pannello isolante

### 3.2.1 Criteri generali

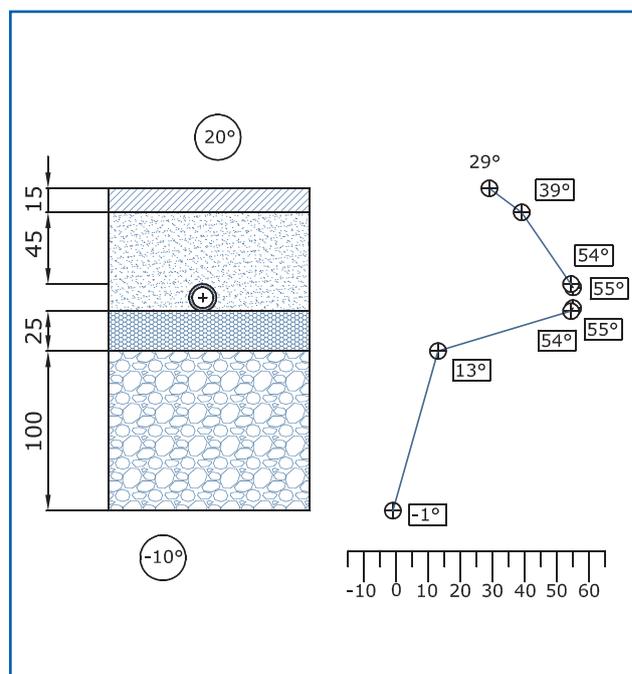
La scelta del materassino isolante deriva da un compromesso tra isolamento termico, acustico e dal carico che si prevede gravare sul pavimento. Quest'ultimo va scelto accuratamente in campo industriale dopo considerazioni sulla destinazione d'uso dell'impianto. In campo civile i materassini isolanti proposti sopportano tranquillamente le sollecitazioni previste dalla normativa. I materassini isolanti possono essere costituiti da diversi materiali, i più comuni sono in polistirolo espanso o schiuma poliuretanica espansa, con densità da 20 kg/m<sup>3</sup> a 35 kg/m<sup>3</sup>, e possono avere diversi spessori, tipicamente dai 10 mm in su. A questi si affiancano anche isolanti per la bio-edilizia in sughero con interessanti prestazioni tecniche.

Le caratteristiche del sistema scelto devono consentire una posa rapida e un basso livello di scarti con conseguenze dirette sui costi di materiale e manodopera. L'isolante deve possedere, inoltre una barriera contro l'umidità sulla superficie superiore, dove viene gettato del materiale con elevato livello di umidità. Per quanto riguarda la superficie inferiore è necessario isolare il massetto dal sottofondo, solo se a contatto direttamente con il terreno o con superfici umide. Un accorgimento importante è la verifica della compatibilità chimica dell'isolante con materiali presenti nella struttura. È da evitare il contatto di polistiroli con liquidi che possono danneggiarlo, ad esempio nelle officine, dove possano esserci perdite di olii o di benzine.

### 3.2.2 Isolamento termico

Per quanto riguarda l'isolamento termico, è necessario riferirsi alla normativa UNI EN 1264-4, per avere il valore minimo di resistenza termica  $R_{\lambda, \min}$  [m<sup>2</sup>K/W] o conducibilità termica massima  $\lambda$  [W/mK] ammessa tra il pavimento e la superficie sottostante. Questo dato è variabile a seconda che i locali siano a contatto col terreno, con porticati, con locali parzialmente riscaldati, o con locali riscaldati, ecc. L'isolamento termico è indispensabile, perché l'energia termica venga scambiata con il locale superiore anziché con quello inferiore o, ancor peggio, ceduta all'esterno. In ambienti come soppalchi o piani intermedi di una casa unifamiliare si può anche diminuire l'isolamento o in determinate situazioni anche rinunciarvi.

Per raggiungere un valore minimo necessario o per migliorare il grado d'isolamento, bisogna aumentare lo spessore dell'isolamento o utilizzare materiali con un miglior grado d'isolamento specifico, in altre parole o con una resistenza termica  $R_{\lambda, \min}$  maggiore o con una conducibilità termica  $\lambda$  minore. Il grado di isolamento deve aumentare, nel caso si utilizzino rivestimenti superficiali con elevate resistenze termiche come legni, moquettes o tappeti. Infatti dal rapporto tra le resistenze termiche sotto (e quindi comprendenti l'isolamento) e sopra al tubo (e quindi comprendenti il rivestimento) dipende la quantità di potenza dispersa verso il basso dall'impianto.

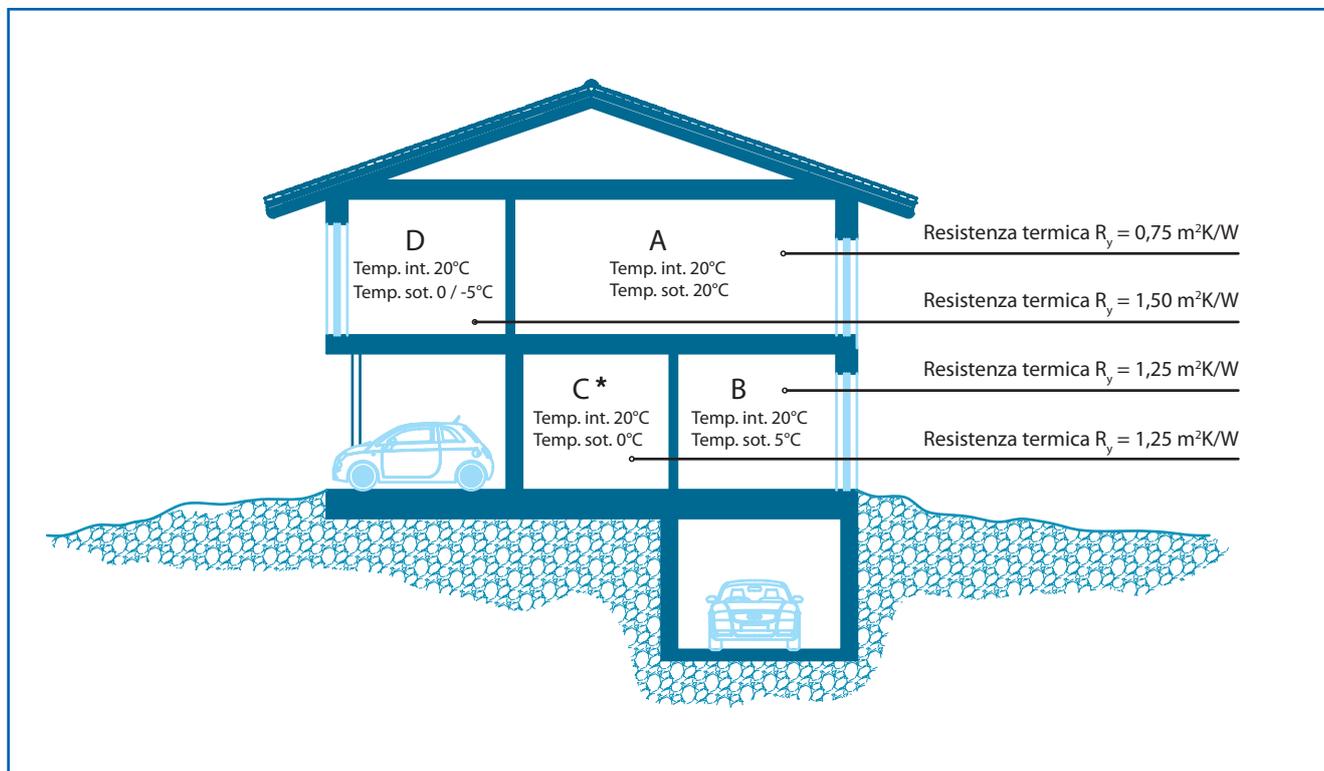


**10/1** Esempio di distribuzione teorica della temperatura in una sezione di impianto a pavimento: temperatura in casa 20°C, temperatura esterna -10°C, temperatura di mandata 55°C, temperatura della superficie 29°, potenza specifica emessa 100 W/m<sup>2</sup>

Nei moderni impianti radianti a pavimento, vengono utilizzati materassini isolanti sotto le tubazioni scaldanti in modo da rendere minime le dispersioni termiche verso il basso e per rendere più veloce la messa a regime dell'impianto stesso.

I materassini isolanti possono essere lisci o preformati

ed hanno non solo il compito di rendere termicamente indipendenti i diversi piani dell'edificio ma di isolarli anche acusticamente. Tutti gli isolanti commercializzati da Buderus sono provvisti di certificati CE in modo da poter offrire le massime garanzie di qualità e di conformità alle normative vigenti.



11/2 Valori di resistenza termica

	A	B/C	D		
	Ambiente sottostante riscaldato	Ambiente sottostante non riscaldato	Temp.est. > 0 °C	Temp.est. 0 / -5 °C	Temp.est. -5/-15 °C
Resistenza termica (m <sup>2</sup> K/W)	0,75	1,25	1,25	1,50	2,00

\* Con falda acquifera ≤ 5 m scegliere valore  $R_y$  maggiore.

11/3 Tabella riassuntiva dei valori di resistenza termica

## 3.2.3 Carichi statici

Per stabilire, a seconda del carico statico, quale tipo di isolamento sia necessario, ci si può riferire alla norma DIN 1055 o alla corrispondente UNI EN (ad esempio la

UNI EN 1991 - 1 - 1: 2004), secondo cui i carichi massimi ammessi sui solai sono dipendenti dalle categorie di destinazione d'uso e sono così ripartiti:

Categoria	Destinazione d'uso specifica	Esempio	Valore caratteristico di un carico uniformemente ripartito $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Valore caratteristico di un carico variabile concentrato $Q_k$ [kN]
A	Aree per attività domestiche e residenziali	Camere in edifici e abitazioni unifamiliari; Camere e corsie negli ospedali; Camere negli alberghi e cucine e bagni negli ostelli	1,5 – 2,0	2,0 – 3,0
B	Aree per uffici		2,0 – 3,0	1,5 – 4,5
C	Aree nelle quali le persone possono adunarsi escluse aree A,B e D)	C1: aree con tavoli; bar, scuole, ristoranti, sale di lettura	2,0 – 3,0	3,0 – 4,0
		C2: aree con posti a sedere fissi; chiese, teatri, sale d'attesa ferroviarie	3,0 – 4,0	2,5 – 7,0
		C3: aree prive di ostacoli; musei, uffici pubblici, sale d'esposizione	3,0 – 5,0	3,5 – 7,0
		C4: Aree con possibile svolgimento di attività fisiche; palestre sale da ballo	4,5 – 5,0	3,5 – 4,5
		C5: Aree suscettibili di grande affollamento; piattaforme ferroviarie, sale da concerto	5,0 – 7,5	3,0 – 4,0
D	Aree per attività commerciali	D1: aree per acquisti generici al dettaglio	4,0 – 5,0	3,5 – 7,0
		D2: aree in grandi magazzini	4,0 – 5,0	3,0 – 7,0
E1	Aree suscettibili all'accumulo di merci, incluse le aree di accesso	Aree di immagazzinamento inclusi immagazzinamento di libri e altri documenti	7,5	7,0
E2	Uso industriale			
F	Aree per il traffico veicolare ed il parcheggio per veicoli leggeri (peso lordo del veicolo $\leq 30$ kN e posti a sedere, escluso il guidatore $\leq 8$ )	Garage; Aree di parcheggio, aree di sosta	1,5 – 2,5	10,0 – 20,0
G	Aree per il traffico veicolare ed il parcheggio per veicoli medi (peso lordo del veicolo $> 30$ kN e $\leq 160$ kN su 2 assi)	Rampe di accesso; Zone di carico-scarico merci; Zone accessibili a veicoli dei vigili del fuoco (peso lordo veicolo $\leq 160$ kN)	5,0	40,0 – 90,0

Note: L'accesso alle aree progettate in categoria F dovrebbe essere delimitato da elementi fissici costruiti nella struttura. Le aree progettate nelle categorie F e G dovrebbero essere segnalate con appositi cartelli. I valori stabiliti da un intervallo possono essere stabiliti dall'appendice nazionale.

12/1 Tabella riassuntiva dei carichi previsti dalla norma

## 3.2.4 Isolamento acustico

Il materiale impiegato per l'isolamento termico può svolgere anche la funzione di isolamento acustico. Questa caratteristica è utile in caso di abitazioni plurifamiliari e i costruttori dovrebbero tenerne conto durante la costruzione di condomini. Come principio vale in questo caso, con una certa precisione, quello secondo cui all'aumentare della densità del materiale cala l'isolamento acustico. A torto alcuni vedono nel pannello più leggero un grado di resistenza ai carichi minore una volta installati. In ambito civile i carichi sopportati dai pannelli con isolamento acustico

commercializzati da Buderus sono più che sufficienti, a patto che il massetto venga realizzato da un professionista del settore in conformità alle normative. Va ricordato che in ogni caso il massetto deve essere "galleggiante", non rigidamente ancorato alle pareti, pena la rottura del pavimento, indipendentemente dalla resistenza a compressione dell'isolante usato. Il sistema Buderus comprende nella sua ampia gamma isolamenti acustici fino a 28 dB. Richiamando considerazioni fatte sopra, una diminuzione di 28 dB risulta una diminuzione di percezione sonora di oltre il 50%.

### 3.2.5 Criteri per la scelta

Se si ha l'intenzione di usare un sistema di riscaldamento e raffrescamento a pannelli radianti bisogna tenerne conto in fase di costruzione o di ristrutturazione per valutare l'altezza minima a disposizione e le condizioni al contorno che determinano il grado di isolamento termico e acustico. In conclusione si può quindi affermare che, dovendo scegliere un isolamento è bene rapportare al costo del materiale le seguenti caratteristiche:

- Spessori
- Isolamento termico
- Resistenza meccanica
- Isolamento acustico
- Velocità di posa
- Livello ridotto di scarto
- Compatibilità con la destinazione d'uso dei locali.

## 3.3 Tubazioni dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento a pavimento

### 3.3.1 Il sistema tubo - massetto

I tubi annegati in un massetto non possono espandersi all'aumentare della temperatura: quello che avviene è una riduzione del diametro interno di  $2/100 - 3/100$  mm, infatti il coefficiente di dilatazione termica è compreso tra i  $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$  e i  $1,9 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ . Il tubo è fissato al materassino isolante. L'altezza del tubo nel massetto non ha effetti sulla resa termica dell'impianto. Posizionando il tubo sensibilmente più in alto, non si ottiene altro effetto se non quello di innalzare la temperatura media di un valore di circa 1,5 K. Si potrebbe pensare ad un'entrata a regime più rapida, ma come effetto collaterale si ottiene l'effetto sgradevole di una disuniformità maggiore della temperatura superficiale, soprattutto in prossimità delle tubazioni di mandata: cala il comfort. Tale effetto può creare anche problemi ai pavimenti in legno, cambiandone localmente la colorazione. Il massetto dunque non solo distribuisce i carichi, ma rende possibile l'uniformità della temperatura sulla superficie.

Il massetto sopra i tubi riscaldanti si dilata sotto l'effetto termico dei tubi in esso annegati. La dilatazione unitaria media è di circa  $0,12 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$  e non è la stessa per la parte inferiore e superiore del massetto, essendo la temperatura più alta nella parte inferiore. Quando l'opera muraria è fatta in maniera errata, si ha la tipica deformazione a schiena d'asino, si forma una gobba. Ciò porta all'inevitabile rottura della copertura e la sua sostituzione con tutti gli oneri e disagi ad essa legati. Se si considerano una temperatura iniziale di  $10^\circ\text{C}$  ed una finale di  $40^\circ\text{C}$ , il massetto di un pavimento con un lato di 8 m può estendersi di circa 3 mm. Tale allungamento viene assorbito dalla banda perimetrale che dev'essere frapposta tra il massetto ed ogni struttura muraria fissa e dai giunti di dilatazione. La normativa UNI EN 1264 prevede che le superfici tra i giunti non devono essere maggiori di  $40 \text{ m}^2$  con una lunghezza massima di 8 m. Nel caso di ambienti stretti e lunghi le superfici tra i giunti possono supe-

rare queste dimensioni, ma con un rapporto massimo tra le lunghezze di 1:2. Questo è in definitiva il motivo fondamentale per il quale bisogna fare il massetto galleggiante, ovvero senza alcun ancoraggio laterale. La banda perimetrale è realizzata con una striscia di polietilene espanso, ha uno spessore di 8-10 mm e un'altezza variabile tra 16 e 30 cm. È dotata di una gonfollina in materiale plastico che poggia sopra l'isolamento, impedendo la penetrazione del massetto lungo il perimetro durante la gettata. Un'adeguata ampiezza di tale bandella è fondamentale per una posa veloce e comunque efficace della banda perimetrale. La banda perimetrale deve essere comprimibile per almeno 5 mm e deve essere applicata alla parete prima del materassino isolante tramite inchiodatura o incollaggio. Il vantaggio di avere una banda perimetrale adesiva come quelle distribuite da Buderus risulta evidente. Lo strato adesivo è di importanza da non sottovalutare, in quanto in cantiere, quando viene posato l'impianto di riscaldamento a pavimento, i muri sono ancora grezzi e ciò può compromettere una perfetta adesione. La banda perimetrale adesiva commercializzata da Buderus è adesiva per la sua intera superficie posteriore e l'adesivo è di ottima qualità.

La dilatazione del massetto può non essere uniforme per tutta la superficie e in presenza di locali molto ampi o con spigoli interni può non trovare sfogo e si possono verificare sollevamenti o rotture.

Riassumendo la normativa prescrive che superfici con le seguenti caratteristiche

- Superficie superiore ai  $40 \text{ m}^2$
- Con lati di lunghezza maggiore di 8 m
- Con lunghezza e larghezza del locale in un rapporto non superiore a 1:2
- Con forme irregolari tipo a "L" o "Z"
- Divise da porte o restringimenti

vengano suddivise con i cosiddetti giunti di dilatazione, in maniera tale da ottenere superfici che siano al di fuori dei casi elencati e siano tra loro indipendenti. I giunti di dilatazione devono interrompere il massetto per tutta la sua altezza e devono essere di materiale comprimibile così come lo è la banda perimetrale. Questo per evitare che durante l'asciugatura del massetto si creino tensioni dovute a differenti velocità di asciugatura e che durante il funzionamento si creino dilatazioni tali da non essere più assorbite dalla banda perimetrale. I rivestimenti ceramici presentano coefficienti di dilatazione termica inferiori alla metà di quelli del massetto, e vanno quindi anch'essi interrotti in prossimità dei giunti di dilatazione, realizzando fugature con materiali elastici, in modo da consentire il diverso movimento. La conseguenza di una frattura o del cedimento del massetto è il possibile danneggiamento delle tubazioni oltre che dei rivestimenti. Va ribadito che questa evenienza è indipendente dalla portata dei materassini isolanti e quindi dipendente solo dalla qualità del lavoro di posa del massetto.

Un giunto apparente (taglio con cazzuola) non è un giunto di dilatazione. Se questo taglio viene previsto, il giunto dovrà avere una profondità non superiore ad un terzo dello spessore del massetto. Dopo l'indurimento del massetto, tale giunto dovrà essere riempito a filo e con accoppiamento dinamico, p. es. con resina sintetica. I giunti apparenti non dovranno essere

riprodotti in sovrapposizione nella copertura del pavimento come p. es. i giunti di dilatazione.

In fase di definizione delle distanze dei giunti e delle dimensioni dei quadranti di massetto occorre considerare il tipo di legante, il rivestimento previsto, nonché la sollecitazione, p. es. quella termica.

Quando il riscaldamento è in funzione, gli strati flottanti di distribuzione del carico subiscono un allungamento per dilatazione termica lineare. Con il massetto in calcestruzzo, il coefficiente di dilatazione lineare è di circa 0,012 mm/mK. L'allungamento complessivo ( $\Delta L$ ) viene calcolato come segue:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta \theta \cdot L$$

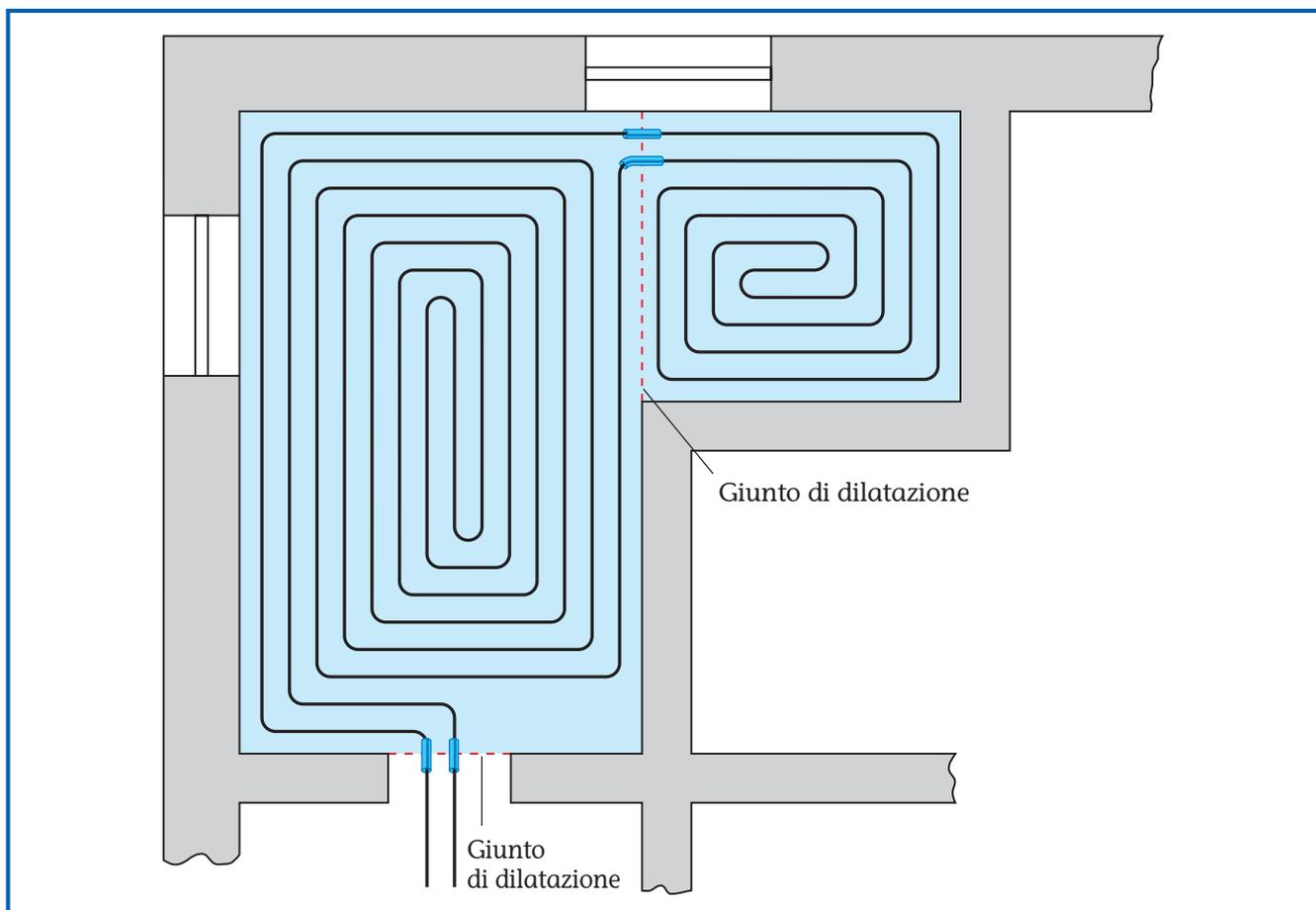
dove:

- $L$  = Lungh. ambiente/area
- $\Delta \theta$  = Differenza di temperatura
- $\alpha$  = Coeff. dilataz. termica lineare

*Esempio di calcolo*

$$\Delta L = 8 \text{ m} \cdot 20 \text{ K} \cdot 0,012 \text{ mm/mK} = 1,92 \text{ mm}$$

La situazione è completamente diversa con il massetto autolivellante a base di solfato di calcio. In questo caso la disposizione delle fughe di dilatazione dovrà essere concordata di volta in volta con il produttore oppure realizzata secondo le schede tecniche.



14/1 Esempio di posa in presenza di giunti di dilatazione

## 4 Progetto dell'impianto a pavimento

### 4.1 Calcolo dell'impianto di riscaldamento a pavimento

Una volta scelti il sistema e i materiali, progettare un impianto di riscaldamento a pavimento significa determinare passi di posa, temperature e disposizioni di circuiti e collettori. Inoltre è necessario calcolare la taratura dei detentori del collettore, per fornire ad ogni locale la quota di potenza per compensare le dispersioni termiche. Il risultato del calcolo deve fornire poi i dati per il dimensionamento della pompa di circolazione, il vaso di espansione e il generatore di calore per tale impianto, oltre che indicare le quantità dei materiali necessari.

Il calcolo eseguito fedelmente a quanto prescrive la

normativa è complesso da svolgere a mano, poiché richiede interazioni e calcoli complessi. Di seguito si riporta una tabella di calcolo che consente, con l'ausilio di numerosi diagrammi, di portare a termine un dimensionamento approssimato dell'impianto. Un calcolo più preciso può essere effettuato con l'apposito programma di calcolo Buderus. Tale esercizio è comunque utile, indipendentemente dall'esito del calcolo, per capire come operare oculatamente delle scelte, che i programmi di calcolo stessi richiedono. Inoltre fornisce una guida per l'esposizione delle considerazioni inerenti il progetto.

#### 4.1.1 Esempio di guida per il calcolo

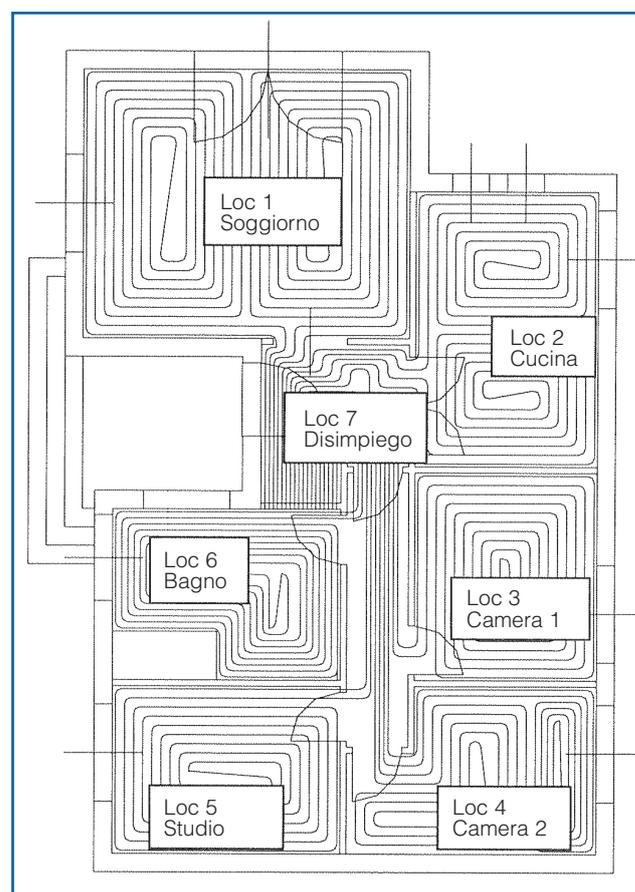
Si prenda in esame l'abitazione illustrata nella pianta (→ 15/1) e si supponga che:

- Abbia al di sotto un'altra abitazione che sia a sua volta riscaldata
- I rivestimenti siano in legno in tutti i locali tranne in cucina (cotto  $R_{\lambda} = 0,05 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) e in bagno (ceramica  $R_{\lambda} = 0,05 \text{ m}^2\text{K/W}$ )
- La massima perdita di carico ammessa sia 250 mbar.

I dati di fabbisogno termico dei locali sono stati inseriti direttamente nella tabella.

Il calcolo prevede di individuare il locale più sfavorevole da cui:

- Stabilito un salto termico minimo, desumere la temperatura di mandata per tutto l'impianto
- Calcolare il numero dei circuiti e il passo di posa di ogni circuito
- Calcolare il salto termico corretto per ogni circuito
- Determinare la portata adeguata d'acqua ai circuiti per fornire tramite opportuna taratura la potenza richiesta dei locali
- Fornire i dati di portata complessiva e la massima perdita di carico per il dimensionamento della pompa
- Calcolare il contenuto d'acqua per il dimensionamento del vaso d'espansione



15/1 Esempi di abitazione per il calcolo

## 4.1.2 Tabella di calcolo: locali

Fase di calcolo	Riga	Descrizione	Nome	u.m.	Calcolo
Inserimento dati dei locali	1	Numero locale			
	2	Nome			
	3	Resistenza termica rivestimento	$R_{\lambda,B}$	$m^2 K/W$	
	4	Temperatura ambiente	$\theta_i$	$^{\circ}C$	
	5	Distanza collettore-locale	$L_C$	m	
	6	Superficie totale da riscaldare	$A_T$	$m^2$	
	7	Potenza totale da fornire (senza perdite dal pavimento)	$Q_T$	W	
Allunghi di circuiti estranei nel locale	8	Lunghezza tubi estranei	$L_E$	m	
	9	Passo tubi estranei	$T_E$	m	
	10	Superficie occupata da tubi estranei	$A_E$	$m^2$	=R8*R9
	11	Potenza fornita da tubi estranei	$Q_E$	W	=(35,5*R10) verifica con R54 e R67
Riepilogo potenza	12	Potenza netta da fornire	$Q_N$	W	=R7-R11
	13	Superficie netta utile per la posa degli anelli	$A_N$	$m^2$	=R6-R10
	14	Potenza specifica utile da fornire	$q_U$	$W/m^2$	=R12/R13
Zona perimetrale	15	Superficie zona perimetrale	$A_P$	$m^2$	
	16	Potenza richiesta zona perimetrale	$Q_P$	W	
	17	Potenza specifica richiesta zona perimetrale	$q_P$	$W/m^2$	=R16/R15
	18	Potenza specifica utile zona perimetrale	$q_{PU}$	$W/m^2$	diagr 24/1
	19	Sovratemperatura zona perimetrale	$\Delta\theta_{HP}$	K	diagr 24/1
	20	Passo zona perimetrale	$T_P$	m	diagr 24/1
	21	Temperatura superficiale zona perimetrale	$\theta_{FP}$	$^{\circ}C$	<35 $^{\circ}C$ diagr 22/1
	22	Potenza utile zona perimetrale	$Q_{UP}$	W	=R18*R15
	23	Potenza specifica verso il basso zona perimetrale	$q_{PB}$	$W/m^2$	diagr o calc 27/1
	24	Potenza verso il basso zona perimetrale	$Q_{PB}$	W	=R23*R15
	25	Lunghezza tubo zona perimetrale	$L_P$	m	=R15/R20 + 2*R5*R26
	26	Nr. circuiti zona perimetrale	$n_p$		
Zona interna	27	Lunghezza allunghi alla zona perim. nella zona interna	$L_{ep}$	m	
	28	Passo allunghi alla zona perimetrale	$T_{ep}$	m	
	29	Superficie occupata da allunghi nella zona perimetrale	$A_{ep}$	$m^2$	=R27*R28
	30	Potenza specifica da allunghi zona perim.	$q_{ap}$		diagr 24/1
	31	Superficie residua zona interna	$A_i$	$m^2$	=R13-R15
	32	Potenza richiesta zona interna	$Q_i$	W	=R12-R22-R30*R29
	33	Potenza specifica richiesta zona interna	$q_i$	$W/m^2$	=R32/R31
	34	Potenza specifica utile zona interna	$q_{iU}$	$W/m^2$	diagr 24/1
	35	Sovratemperatura zona interna	$\Delta\theta_{Hi}$	K	diagr 24/1
	36	Passo zona interna	$T_i$	m	diagr 24/1
	37	Temperatura superficiale zona interna	$\theta_{Fi}$	$^{\circ}C$	$\theta_F < 29$ e $< \theta_i + 9$ nei bagni
	38	Potenza utile zona interna	$Q_{Ui}$	W	=R31*R34
	39	Potenza specifica verso il basso zona interna	$q_{iB}$	$W/m^2$	diagr o calc 27/1
	40	Potenza verso il basso zona interna	$Q_{iB}$	W	=R39*R31
	41	Lunghezza tubo zona interna	$L_P$	m	=R31/R36 + 2*R5*R42
	42	Nr. circuiti zona interna	$n_i$		
Temp. di mand.	43	Temperatura di mandata impianto	$\theta_M$	$^{\circ}C$	diagr 25/1

## 4.1.3 Tabella di calcolo: inserimento dati locali

Riga	Nome	u.m.	Calcolo	1	2	3	4	5	6	7
1				1	2	3	4	5	6	7
2				soggiorno	cucina	camera1	camera2	studio	bagno	disimpegno
3	$R_{iB}$	m <sup>2</sup> K/W	tabella	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1	0,01	0,1
4	$\theta_i$	°C		20	20	20	20	20	22	18
5	$L_C$	m		3	4	5	9	7	3,5	
6	$A_T$	m <sup>2</sup>		19,4	15,6	10,2	10	10,2	10,4	11,7
7	$Q_T$	W		1552	1326	714	1000	900	1224	410
8	$L_E$	m		0	0	0	0	0	0	77
9	$T_E$	m		0	0	0	0	0	0	0,15
10	$A_E$	m <sup>2</sup>	=R8*R9	0	0	0	0	0	0	11,55
11	$Q_E$	W	=(35,5*R10) verifica con R54 e R67	0	0	0	0	0	0	410
12	$Q_N$	W	=R7-R11	1552	1326	714	1000	900	1224	0,1
13	$A_N$	m <sup>2</sup>	=R6-R10	19,4	15,6	10,2	10	10,2	8,4	0,15
14	$q_U$	W/m <sup>2</sup>	=R12/R13	80,0	85,0	70,0	100,0	88,2	145,7	0
15	$A_p$	m <sup>2</sup>					2,75			
16	$Q_p$	W					292			
17	$q_p$	W/m <sup>2</sup>	=R16/R15				106			
18	$q_{pU}$	W/m <sup>2</sup>	diagr 24/1				106			
19	$\Delta\theta_{HP}$	K	diagr 24/1				27,5			
20	$T_p$	m	diagr 24/1				0,1			
21	$\theta_{FP}$	°C	diagr 22/1				29,5			
22	$Q_{UP}$	W	=R18*R15				292			
23	$q_{pB}$	W/m <sup>2</sup>	diagr o calc 27/1				17,5			
24	$Q_{pB}$	W	=R23*R15				48,1			
25	$L_p$	m	=R15/R20 + 2*R5*R26				45,5			
26	$n_p$			0	0	0	1	0	0	0
27	$L_{ep}$	m		0	0	0	6	0	0	
28	$T_{ep}$	m		0	0	0	0,15	0	0	
29	$A_{ep}$	m <sup>2</sup>	=R27*R28	0	0	0	0,9	0	0	
30	$q_{ap}$		diagr 24/1	0	0	0	96	0	0	0
31	$A_i$	m <sup>2</sup>	=R13-R15-R29	19,4	15,6	10,2	6,35	10,2	8,4	0
32	$Q_i$	W	=R12-R22-R30*R29	1552,0	1326,0	714,0	621,6	900,0	1224,0	0
33	$q_i$	W/m <sup>2</sup>	=R32/R31	80,0	85,0	70,0	97,9	88,2	145,7	
34	$q_{iU}$	W/m <sup>2</sup>	diagr 24/1	80	85	70	85,8	88,2	100	35,0
35	$\Delta\theta_{Hi}$	K	diagr 24/1	24	20,5	21	27,5	26	15,5	22,5
36	$T_i$	m	diagr 24/1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,1	0,15
37	$\theta_{Fi}$	°C	$\theta_f < 29$ e $< \theta_i + 9$ nei bagni	27,3	27,8	26,5	28,0	28,0	31,0	21,5
38	$Q_{Ui}$	W	=R31*R34	1552	1326	714	622	900	840	5,3
39	$q_{iB}$	W/m <sup>2</sup>	diagr o calc 27/1	13,8	9	12,1	14,8	15,2	11	
40	$Q_{pB}$	W	=R39*R31	267,7	187,2	123,4	107,3	155	92,4	
41	$L_i$	m	=R31/R36 + 2*R5*R42	135,3	112	78	66,3	82	91	
42	$n_i$			2	2	1	1	1	1	0
43	$\theta_M$	°C	diagr 25/1	50	50	50	50	50	50	

## 4.1.4 Tabella di calcolo: circuiti

Fase di calcolo	Riga	Descrizione	Nome	u.m.	Calcolo
Circuiti	47	Locale			
Zona perimetrale	48	Lunghezza singoli circuiti zona perimetrale	$L_{PS}$	m	=R25/R26
	49	Salto termico zona perimetrale	$\Delta\theta_{MRP}$	K	diagr 22/1
Potenza ceduta dagli allunghi zona perimetrale	50	Passo medio allunghi ai circuiti zona perim. negli altri locali	$T_{ap}$	m	
	51	Quota isolamento allunghi zona perimetrale	$i_{\%p}$	%	
	52	Superficie occupata da allunghi zona perim. in altri locali	$A_{ap}$	m <sup>2</sup>	=R50*R5(1-R51)*2*R26
	53	Potenza specifica ceduta da allunghi zona perimetrale	$q_{aui}$	W/m <sup>2</sup>	con $\Delta\theta_{HP}$ diagr 24/1
	54	Potenza utile ceduta da allunghi zona perim. in altri locali	$Q_{aup}$	W	=R53*R52
	55	Potenza specifica media verso il basso allunghi zona perim.	$q_{abp}$	W/m <sup>2</sup>	diagr 27/1
	56	Potenza totale ceduta da allunghi zona perim. in altri locali	$Q_{aup}$	W	=R52*(R55+R53)
		57	Potenza totale fornita ai circuiti zona perimetrale	$Q_{atp}$	W
58		Portata zona perimetrale	$m_p$	kg/h	=R57/(1,1629*R49)
59		Portata singolo circuito zona perimetrale	$m_{PS}$	kg/h	=R58/R26
Zona interna	60	Lunghezza singoli circuiti zona interna	$L_{IS}$	m	=(R41/R42)
	61	Salto termico zona interna	$\Delta\theta_{MRi}$	K	diagr 25/1
Potenza ceduta dagli allunghi zona interna	62	Passo medio allunghi ai circuiti zona interna in altri locali	$T_{ai}$	m	
	63	Quota isolamento allunghi zona interna	$i_{\%i}$	%	
	64	Superficie occupata da allunghi zona interna in altri locali	$A_{ai}$	m <sup>2</sup>	=R62*R5(1-R63)*2*R42
	65	Potenza specifica utile allunghi zona interna	$q_{aui}$	W/m <sup>2</sup>	con $\Delta\theta_{HP}$ diagr 24/1
	66	Potenza spec. media verso il basso allunghi zona interna	$q_{abi}$	W/m <sup>2</sup>	diagr 27/1
	67	Potenza utile ceduta da allunghi zona int. in altri locali	$Q_{aui}$	W	=R65*R64
	68	Potenza totale ceduta da allunghi zona int. in altri locali	$Q_{ati}$	W	=R64*(R66+R65)
	69	Potenza totale fornita ai circuiti zona interna	$Q_{tot}$	W	=R68+R40+R38
	70	Portata zona interna	$m_i$	kg/h	=R69/(1,1629*R61)
	71	Portata singolo circuito zona interna	$m_{IS}$	kg/h	=R70/R42
Idraulica dei circuiti zona perimetrale e zona interna	72	Perdite di carico unitarie zona perimetrale	$\Delta P_{uP}$	mbar/m	R58 e diagr 28/1
	73	Perdite di carico circuiti zona perimetrale	$\Delta P_p$	mbar	=R72*R48
	74	Perdite di carico con valvole aperte zona perimetrale	$\Delta P_{CP}$	mbar	diagr vedere fasc. collettori
	75	Perdite di carico totali zona perimetrale	$\Delta P_{PIOT}$	mbar/m	=R73+R74
	76	Perdite di carico unitarie zona interna	$\Delta P_{uP}$	mbar	diagr 28/1
	77	Perdite di carico circuiti zona interna	$\Delta P_p$	mbar	=R76*R60
	78	Perdite di carico con valvole aperte zona interna	$\Delta P_{CP}$	mbar	diagr vedere fasc. collettori
	79	Perdite di carico totali zona interna	$\Delta P_{PIOT}$	mbar	=R78+R77
	80	Max perdita di carico	$\Delta P_{PMAX}$	mbar	

## 4.1.5 Tabella di calcolo: circuiti

Riga	Nome	u.m.	Calcolo							
47				1	2	3	4	5	6	7
48	$L_{Ps}$	m	=R25/R26				45,5			
49	$\Delta\theta_{MRP}$	K	diagr 25/1				5			
50	$T_{ap}$	m					0,15			
51	$i_{\%p}$	%					60%			
52	$A_{ap}$	m <sup>2</sup>	=R50*R5*(1-R51)*2*R26				1,08			
53	$q_{aup}$	W/m <sup>2</sup>	con $\Delta\theta_{HP}$ diagr 24/1				96			
54	$Q_{aup}$	W	=R53*R52				103,7			
55	$q_{abp}$	W/m <sup>2</sup>	diagr 27/1				15,8			10,2
56	$Q_{aup}$	W	=R52*(R55+R53)				120,7			
57	$Q_{atp}$	W	=R56+R22+R24				460,4			
58	$m_p$	kg/h	=R57/(1,1629*R49)				79,2			
59	$m_{PS}$	kg/h	=R58/R26				79,2			
60	$L_{is}$	m	=(R41/R42)	67,7	56,0	78,0	66,3	82,0	91,0	
61	$\Delta\theta_{MRi}$	K	diagr 25/1	11,2	17	16,5	5	8	23,5	
62	$T_{ai}$	m		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
63	$i_{\%i}$	%		50%	58	50%	60%	58%	60%	
64	$A_{ai}$	m <sup>2</sup>	=R62*R5*(1-R63)*2*R42	0,9	1,2	0,75	1,08	0,882	0,42	
65	$q_{aui}$	W/m <sup>2</sup>	con $\Delta\theta_{HP}$ diagr 24/1	80	68	70	85,8	95	65	
66	$q_{abi}$	W/m <sup>2</sup>	diagr 27/1	13,8	12	12,1	14,8	15,2	11,3	38
67	$Q_{aui}$	W	=R65*R64	72	81,6	52,5	92,7	83,79	27,3	410
68	$Q_{ati}$	W	=R64*(R66+R65)	84,42	96	61,6	108,6	97,2	32,0	
69	$Q_{tot}$	W	=R68+R40+R38	1904,1	1609,2	899,0	838,0	1151,9	964,4	
70	$m_i$	kg/h	=R69/(1,1629*R61)	146,2	82,4	48,3	84,8	123,8	35,3	
71	$m_{is}$	kg/h	=R70/R42	73,1	41,2	48,3	84,8	123,8	35,3	
72	$\Delta P_{uP}$	mbar/m	R58 e diagr 28/1				0,4			
73	$\Delta P_p$	mbar	=R72*R48				18,2			
74	$\Delta P_{CP}$	mbar	diagr vedere fasc. collettori				5			
75	$\Delta P_{PTOT}$	mbar	=R73+R74				23,2			
76	$\Delta P_{ui}$	mbar/m	diagr 28/1	0,3	0,1	0,2	0,45	1	0,1	
77	$\Delta P_i$	mbar	=R76*R60	21,2	6	15,6	29,9	82	9,1	
78	$\Delta P_{Ci}$	mbar	diagr vedere fasc. collettori	5	5	5	5	5	5	
79	$\Delta P_{TOT}$	mbar	=R78+R77	26,2	11	20,6	34,9	87	14,1	
80	$\Delta P_{MAX}$	mbar		0,0	0,0	0,0	0,0	87,0	0,0	

## 4.1.6 Tabella di calcolo: riepilogo

Fase	Riga	Descrizione	Nome	u.m.	Calcolo	Locali						
						1	2	3	4	5	6	7
Riepilogo												
	85	Temperatura di ritorno zona perimetrale	$\theta P_R$	K	R43 - R49				45			
	86	Temperatura di ritorno zona interna	$\theta P_i$	K	R43-R61	38,8	33,2	34	41,5	42	26,5	
	87	Temperatura di ritorno impianto	$\theta P_{MR}$	°C	media pesata ritorni	38,8						
	88	Salto termico totale	$\Delta\theta_{MR}$	K	R43-R63	11,22						
	89	Potenza totale fornita all'impianto	$Q_T$	W	SOMMA R69 + SOMMA R57	7827,0						
	90	Portata totale fornita all'impianto	$m_T$	Kg/h	SOMMA R70 + SOMMA R58	599,9						
	91	Verifica salto termico impianto		K	R87=R89/ (R90*1,1629)	11,2						
	92	Lunghezza totale tubo	$L_T$	m	SOMMA R25 + SOMMA R41	624,17						
	93	Collettore partenze			SOMMA R26 + SOMMA R42	9,00						
	94	Metri quadri isolante		m <sup>2</sup>	SOMMA R6	87,5						
	95	Contenuto acqua impianto		l		82,8						
96	Max perdita di carico	$\Delta P_{PMAX}$	mbar		87,0							

## 4.2 Guida per l'esecuzione del progetto

I concetti guida per la progettazione di un impianto di riscaldamento a pavimento vengono esposti seguendo come traccia la tabella di calcolo. I diagrammi, le tabelle e i commenti sono riportati nell'ordine in cui

vengono utilizzati e hanno come riferimento il numero di riga della tabella e sono raggruppati per fasi di calcolo. Vengono descritte in dettaglio solo le righe per cui l'operazione non è ovvia.

### 4.2.1 Inserimento dati locali

Inserire i dati di potenza termica e i valori delle superfici:

- Riga 3: resistenza termica del rivestimento  $R_{\lambda,B}$   
Nella tabella sono elencati i più comuni tipi di rive-

stimento con i valori medi della resistenza termica  $R_{\lambda,B}$  espressa in  $m^2K/W$ . La resistenza massima del rivestimento compatibile con l'impianto di riscaldamento a pavimento è  $0,15m^2K/W$ .

Rivestimento	Resistenza termica $R_{\lambda,B}$ [ $m^2K/W$ ]
Ceramica, marmo, granito	0,00-0,01-0,05 a seconda dello spessore
Linoleum, materiali plastici	0,05-0,1
Legno e tappeti di spessore ridotto	0,1-0,15
Legno e tappeti di grosso spessore	0,15 valore limite

Nel caso non siano note con certezza le resistenze termiche dei rivestimenti e per il calcolo della temperatura di mandata adottare il valore  $R_{\lambda,B} = 0,1 m^2K/W$ .

- Riga 5: posizione del collettore  
La posizione del collettore è bene che sia la più possibile centrale tra i locali per evitare lunghezze eccessive dei circuiti più distanti e per non avere locali in cui la potenza termica è imposta dal fatto che

passano allunghi a circuiti estranei. Questo renderebbe problematica la termoregolazione degli ambienti.

- Riga 7: potenza totale da fornire al locale  
La potenza si intende netta verso l'alto espressa in Watt. Le dispersioni del locale verso il basso non vanno quindi considerate ed eventualmente detratte dal valore complessivo.

### 4.2.2 Allunghi di circuiti estranei nel locale

- Righe da 8 a 11: tubi estranei nei locali  
Si tratta di allunghi ad altri circuiti che attraversano il locale interessato. Se non si conoscono a priori quali sono i passi e le temperature di tali allun-

ghi, porre un passo medio di  $0,15 m$  e una resa specifica di ca.  $80 W/m^2$ , salvo poi verificare tali valori. L'area occupata da tali allunghi va sottratta da quella totale del locale.

## 4.2.3 Riepilogo potenza

- Riga 12: potenza netta da fornire  
Si ottiene la potenza che il/i circuito/i devono fornire al locale.
- Riga 13: area netta  
Si intende l'area sulla quale vanno posati i tubi. L'isolante è normalmente da posare su tutta la superficie considerata. I tubi non vanno posati sulla superficie già occupata dagli allunghi e sotto le vasche o piatti doccia in quanto si asciugherebbero i sifoni, favorendo il passaggio di cattivi odori.
- Riga 14: potenza specifica  
È il punto di partenza per il dimensionamento dell'intero impianto. Si calcola come il rapporto tra la potenza netta da fornire e la superficie utile per la posa del tubo. Il locale che necessita della potenza specifica maggiore, ovvero quello più sfavorito, è quello sulla cui base viene stabilita in seguito la temperatura di mandata di tutto l'impianto. In tale computo non rientrano i bagni.  
La potenza specifica è una funzione diretta della differenza di temperatura tra la superficie del pa-

vimento e l'aria ambiente secondo la relazione (→ 21/1):

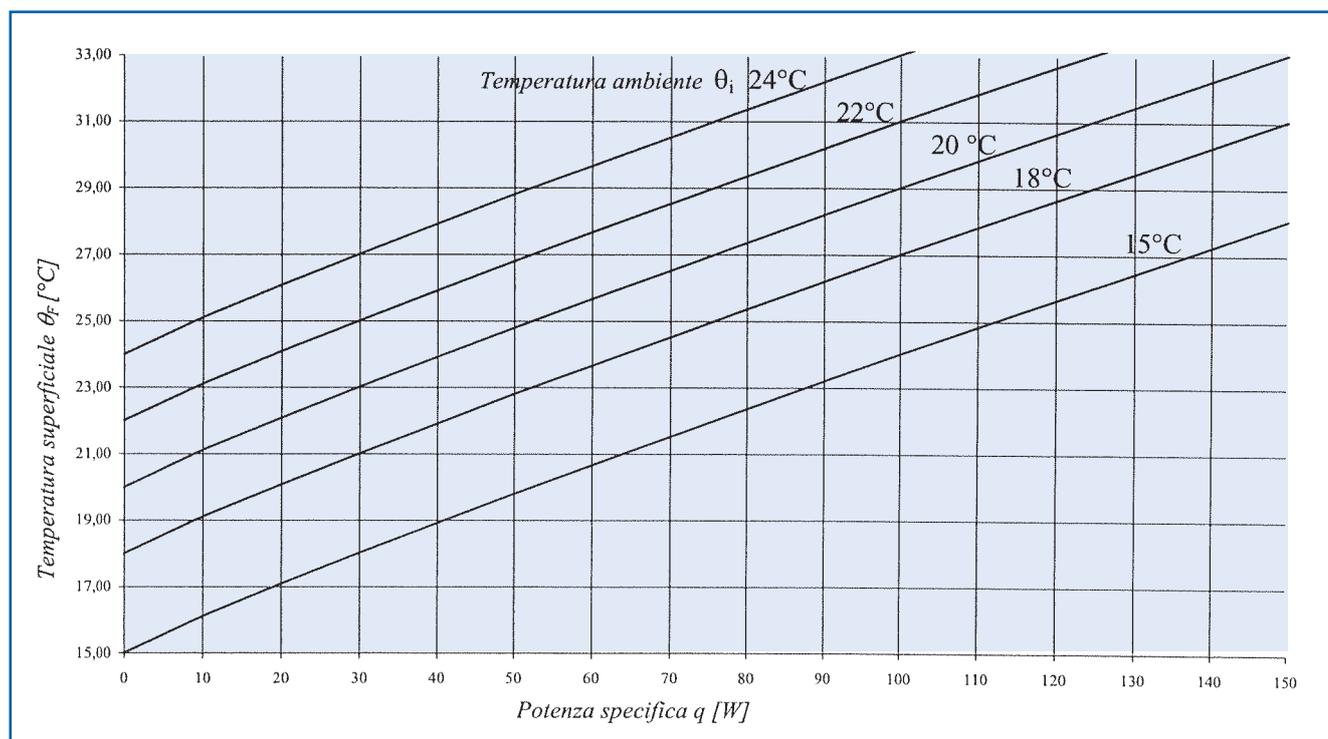
$$q = 8,92 \times (\theta_{F, \max} - \theta_i)^{1,1}$$

Le temperature delle superfici  $\theta_F$  hanno un legame diretto con il benessere ambientale e per motivi fisiologici non possono superare alcuni limiti. Questi valori limite sono:

$$\begin{aligned} \theta_{F, \max} &= 29 \text{ }^\circ\text{C} && \text{nelle zone di soggiorno} \\ \theta_{F, \max} &= 35 \text{ }^\circ\text{C} && \text{nelle zone perimetrali} \\ \theta_{F, \max} &= \theta_i + 9 \text{ }^\circ\text{C} && \text{nei bagni.} \end{aligned}$$

Queste temperature pongono dei limiti alla potenza specifica. Le massime potenze specifiche  $q$  che l'impianto a pavimento può fornire sono, infatti:

$$\begin{aligned} q_{\text{MAX}} &= 100 \text{ W/m}^2 && \text{nelle zone di soggiorno} \\ q_{\text{MAX}} &= 175 \text{ W/m}^2 && \text{nelle zone perimetrali.} \end{aligned}$$



22/1 Relazione temperatura superficiale - potenza specifica in base alla temperatura ambiente

#### 4.2.4 Quota di potenza da assegnare alle zone perimetrali e interne

- Righe da 15 e 16 e da 27 a 28

Già in questa fase dev'essere presa qualche decisione progettuale. Se la potenza specifica utile da fornire  $q_u$  è prossima o maggiore a  $100 \text{ W/m}^2$  è necessario adottare una zona perimetrale, come si può desumere dalle considerazioni precedenti sulle potenze. La zona perimetrale consente di raggiungere quote di potenza maggiori, in quanto le superfici del pavimento possono raggiungere temperature superiori, non essendo di stazionamento per le persone. La larghezza massima delle zone perimetrali è di 1 m a partire dalla parete esterna. La quota di potenza, ed eventualmente di superficie, da assegnare alla zona perimetrale è da stabilire prendendo in esame la relazione:

$$Q_N = A_p \times q_{pU} + A_i \times q_{iU}$$

Come primo tentativo si può pensare di assegnare la maggior superficie e potenza specifica possibili e calcolare per differenza superficie e potenza restante al circuito interno. Tale scelta va eventualmente verificata e corretta in seguito allo sviluppo dei calcoli. Utile può essere dimensionare le zone perimetrali in modo che la lunghezza dei circuiti sia inferiore rispetto a quelle interne. In tal caso l'impianto sarebbe già pressoché bilanciato per fornire una potenza maggiore alle zone perimetrali senza operare successivamente sui detentori del collettore. Tale opportunità potrà essere verificata nel successivo sviluppo dei calcoli. L'utilizzo di zone perimetrali può essere con infittimento presso la parete del circuito interno o realizzando un circuito perimetrale indipendente. Questa soluzione è da preferire in quanto lascia molta libertà nella regolazione dell'impianto. Questo è utile, per esempio, se in seguito dovessero mutare le condizioni di esercizio rispetto a quelle supposte per il progetto.

- Righe 17 e 28: verifica della potenza specifica assegnata alla zona perimetrale e risp. interna

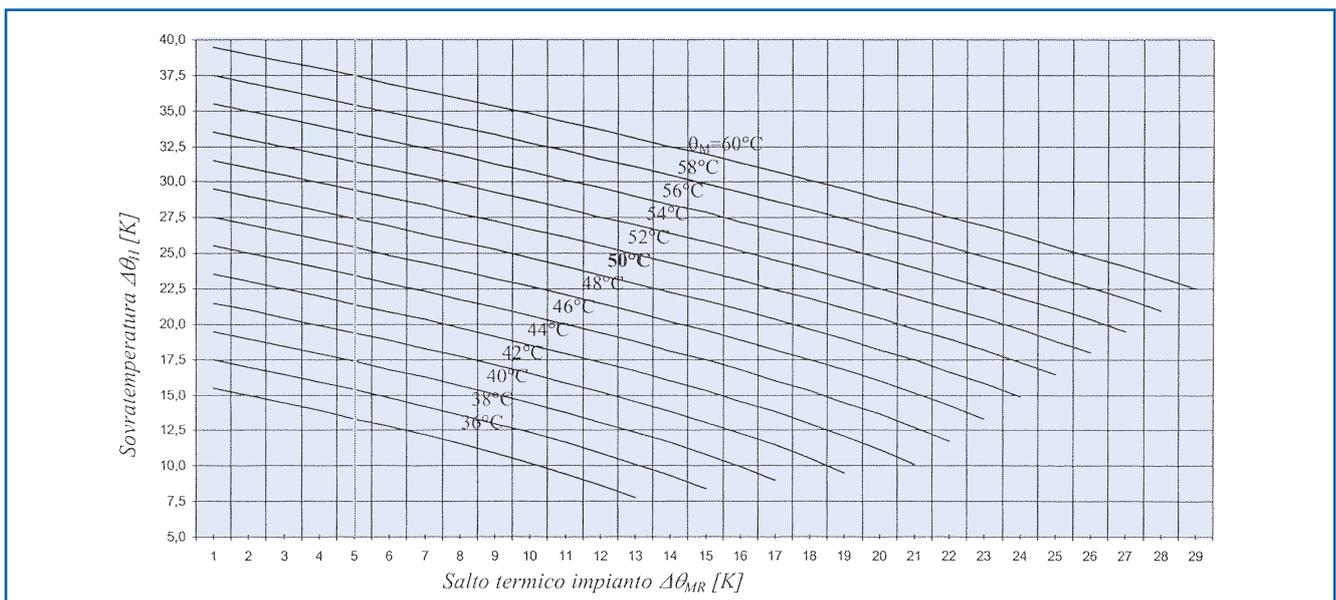
La determinazione delle rese specifiche in base al passo di posa e alla temperatura media dell'acqua nei tubi può essere desunta dai diagrammi di resa riportati nella pagina seguente ( $\rightarrow$  24/1). Nei diagrammi sono indicate le curve limite per le rese nelle zone interne (curva limite per 9 K di differenza tra la temperatura superficiale e quella dell'aria ambiente) e in quelle perimetrali (curva limite 15 K di differenza tra la temperatura superficiale e quella dell'aria ambiente) in funzione delle resistenze termiche del rivestimento  $R_{\lambda B}$ .

- Righe da 27 a 30: potenza ceduta dagli allunghi alla zona perimetrale e alla zona interna

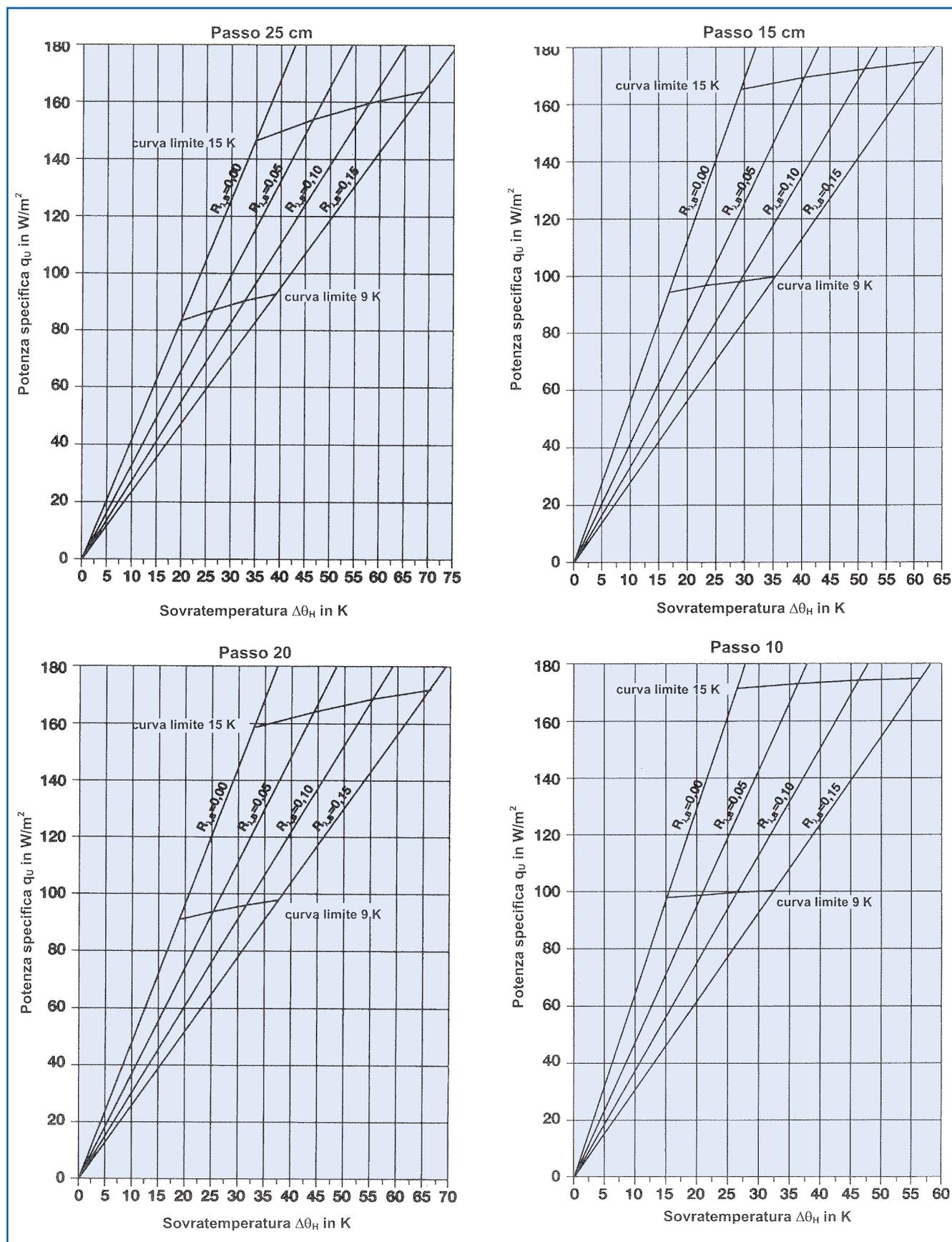
Se si opta per il circuito della zona perimetrale indipendente, cioè con proprio raccordo al collettore, è necessario tenere in conto la potenza che cede e la superficie che occupa nel locale (considerare il locale 4 dell'esempio). Tali grandezze vanno sottratte al circuito interno, allargando il passo di posa degli allunghi o in caso di potenza eccessiva prevedendo di isolare una parte dei tubi.

- Righe da 31 a 43: calcolo della massima sovratemperatura e della temperatura di mandata

I diagrammi di resa vanno utilizzati una prima volta dopo aver individuato il locale più sfavorito, cioè con il valore di  $q$  più elevato per la determinazione della massima sovratemperatura  $\Delta\theta_H$  dell'acqua nei tubi dell'impianto rispetto alla temperatura dell'aria ambiente e della temperatura di mandata per tutto l'impianto  $\theta_M$ . La relazione tra la temperatura di mandata, il salto termico e la sovratemperatura è da ricavare dal diagramma ( $\rightarrow$  23/1):



23/1 Relazione  $\Delta\theta_H - \theta_M - \Delta\theta_{MR}$  con temperatura ambiente di °C



24/1 Diagrammi di resa per i passi di posa  $T = 0,1; 0,15; 0,20; 0,25$

Per queste operazioni è necessario imporre il valore minimo di salto termico  $\Delta\theta_{MR}$  dell'impianto, compreso tipicamente tra 3 e 7 K, e il passo di posa minimo  $T$  per il circuito sfavorito, generalmente  $T = 0,1$ .

Successivamente, nota la temperatura di mandata, si procede al calcolo della sovratemperatura  $\Delta\theta_H$ , e del passo di posa  $T$  di tutti gli altri circuiti.

### 4.2.5 Scelta del passo di posa dell'impianto

La determinazione del passo di posa e della temperatura media dell'acqua dai diagrammi di resa richiede alcune considerazioni.

Si può notare dai diagrammi di resa che una certa potenza specifica (es.  $80 \text{ W/m}^2$  con  $R_{\lambda B} = 0,1$ ) si può ottenere sia con un passo di posa ampio e una temperatura media dell'acqua elevata (passo 25 cm,  $\Delta\theta_H = 28 \text{ K}$ ) sia con un passo di posa fitto e una temperatura dell'acqua inferiore (passo 10 cm,  $\Delta\theta_H = 22 \text{ K}$ ).

Sarebbe apparentemente più conveniente, quindi, dal punto di vista economico, adottare passi di posa ampi ed alte temperature d'esercizio.

Di fatto, se si dovesse seguire tale scelta progettuale, si rinunciarebbe al comfort dovuto all'uniformità delle temperature superficiali nel caso di passo più fitto, e ad una più rapida messa a regime dell'impianto dovuta ad un miglior rapporto tra superficie di scambio radiante e massa, avendo minor superficie di tubo per unità di massa di massetto in cemento. I diversi tempi di messa a regime dell'impianto per una soluzione ideale sono riportati nel diagramma ( $\rightarrow 25/1$ ).

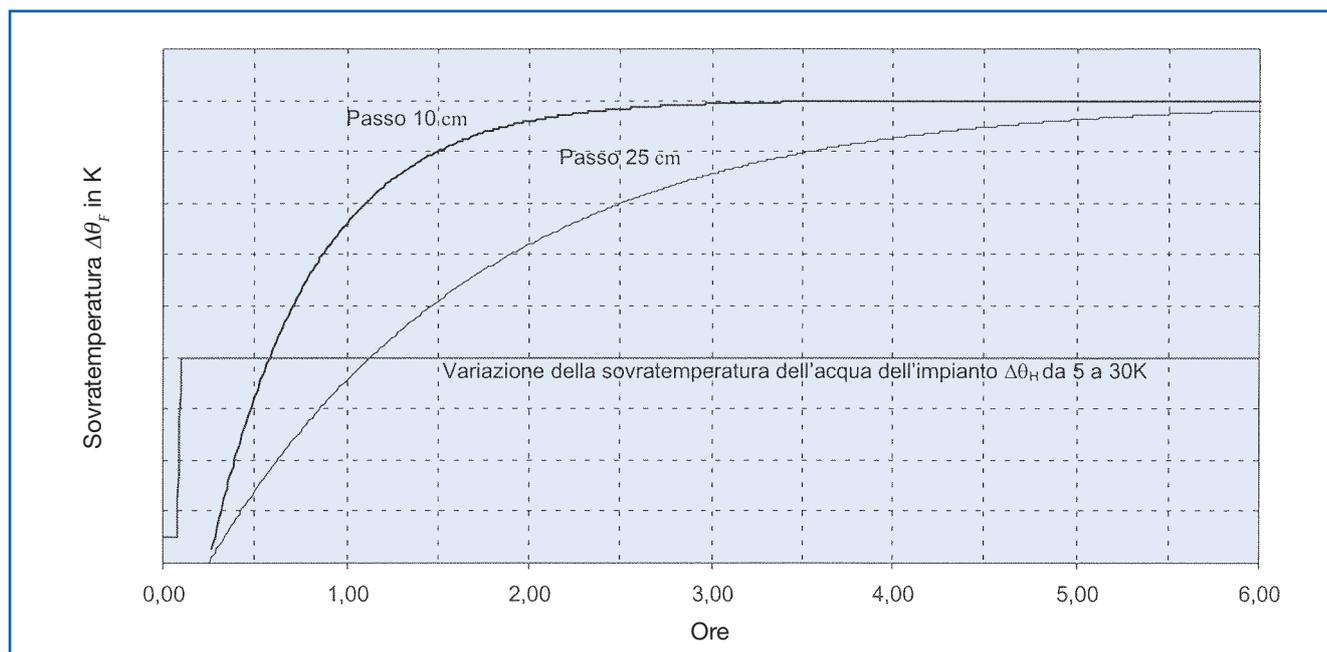
Si andrebbe anche incontro al rischio di dover fronteggiare una difficoltosa regolazione dell'impianto ed un sovradimensionamento della pompa che alimenta il circuito, e quindi maggiori consumi di corrente, a causa dell'aumento di portata d'acqua al circuito, che una soluzione a passo di posa ampio richiede.

Infatti alla base del progetto vi è sempre il calcolo del fabbisogno termico che può essere affetto da errori, e può non prevedere situazioni come un ricambio d'aria più frequente o la copertura di parte della superficie radiante con mobili o tappeti, oppure ancora una frequenza maggiore di accensione e spegnimento dell'impianto, che richiede transitori con potenze

superiori a quelle di scambio termico previste con impianto a regime. Il problema è ben rappresentato dal diagramma di regolazione ( $\rightarrow 25/1$ ). Sul diagramma è rappresentata la relazione tra la potenza specifica fornita dall'impianto e le perdite di carico dello stesso in funzione del passo di posa. Si noti come sia molto difficile ottenere incrementi di potenza da un impianto a passo ampio. Infatti la temperatura dell'acqua non può essere variata pena il superamento delle temperature superficiali, soprattutto in prossimità delle tubazioni di mandata del circuito. Un aumento della resa si può ottenere quindi solo incrementando la portata del circuito, per ottenere, attraverso la riduzione del salto termico, un valore medio più elevato dell'acqua. Il conseguente aumento quadratico delle perdite limita la possibilità di avere riserve di potenza. Si raggiunge facilmente, infatti, il limite di prevalenza delle pompe di circolazione (tipicamente 350 – 400 mbar), il che non lascia soluzioni al problema. Si noti, invece, come sia più ampio il campo di funzionamento di un impianto con passo di posa più fitto, consentendo così tarature più precise in base al fabbisogno termico effettivo dell'impianto.

Del resto, passi di posa eccessivamente ridotti non portano a sensibili miglioramenti delle prestazioni a fronte di incrementi considerevoli di costo dell'impianto. Ad esempio un aumento dal passo 10 cm al passo 5 cm, raddoppia la quantità di tubo e il numero delle partenze al collettore, a fronte di un modesto incremento (circa 10-15%) delle rese specifiche.

Passi di posa ideali sono 10 e 15 cm, e più di rado 20 cm nelle zone interne di impianti con superfici ampie e in concomitanza di zone perimetrali a passo 10. Quanto si è affermato vale per tubi con diametri esterni compresi tra 16 e 20 mm.



25/1 Esempi di risposta dell'impianto a pavimento ad una sollecitazione termica

- Righe 23, 34 e 39, 40

Una quota della potenza che l'acqua trasferisce all'impianto, viene dispersa verso il basso. Tale quota dipende dai valori delle resistenze termiche sopra e sotto il tubo, dalle differenze di temperatura tra il locale riscaldato e quello sottostante e dalla potenza specifica emessa verso l'alto. Essendo infinite le possibili combinazioni di tali fattori è necessario calcolare tale valore di volta in volta. Per una stima approssimata si possono però utilizzare i diagrammi riportati, che si riferiscono ad un solaio comune di abitazione civile e tengono conto di più valori di differenza di temperatura tra il locale riscaldato e quello sottostante.

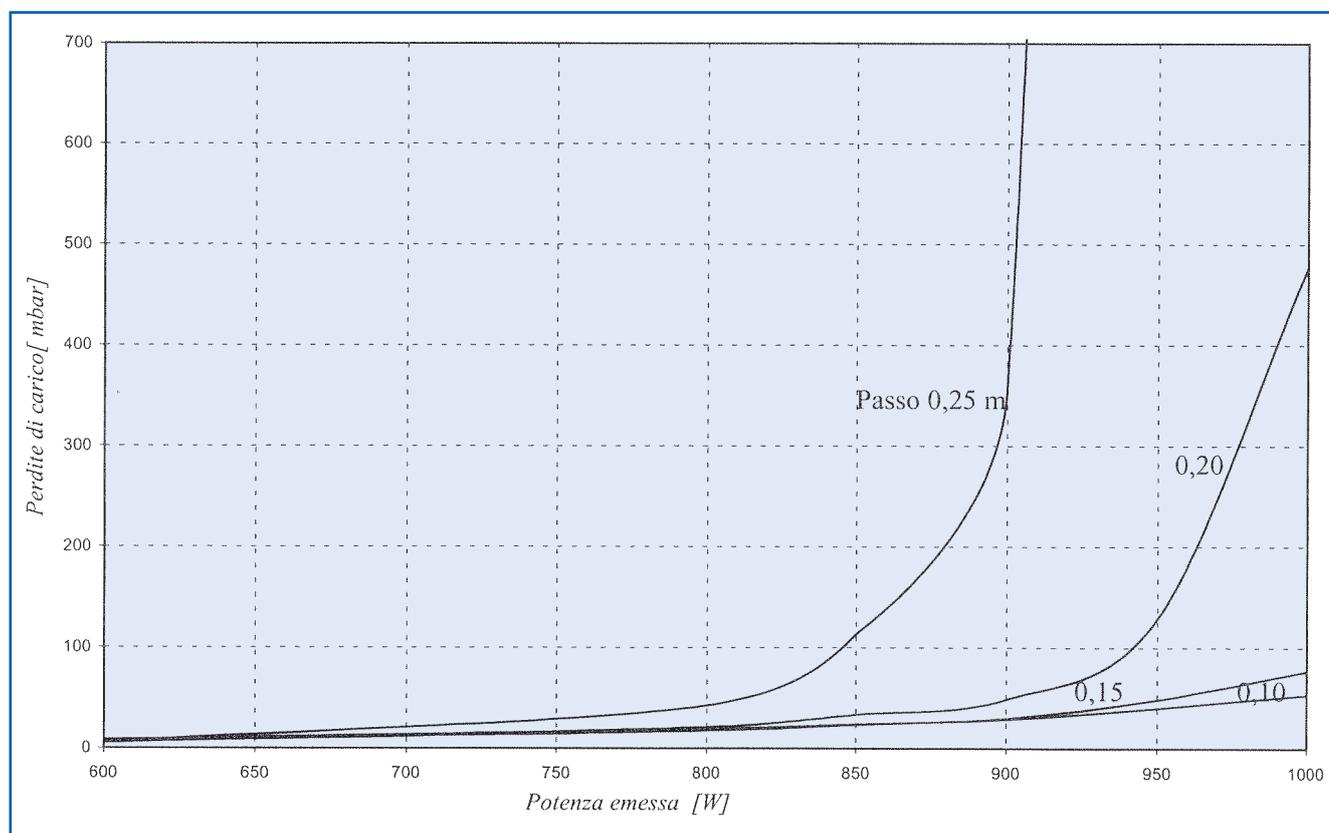
Dal diagramma si può desumere come, soprattutto in caso di rivestimenti ad alta resistenza termica come legno e moquettes, sia importante investire nell'isolante. Le quote percentuali di perdite possono assumere altrimenti valori molto elevati.

- Righe 26 e 42

Il numero dei circuiti dipende dalle lunghezze massime ammesse e dalla geometria dei locali o dalla presenza di giunti di dilatazione, ecc... Inoltre, se possibile, è bene cercare di ottimizzare i rotoli, per ridurre gli scarti del tubo.

- Righe 57, 59 e 69, 71

Sommando le potenze utili verso l'alto e verso il basso, si ottiene la potenza totale  $Q_t$  che contempla anche la potenza ceduta dagli allunghi negli altri locali erogata dall'anello. Con questo dato si calcola la portata totale e dei singoli circuiti.



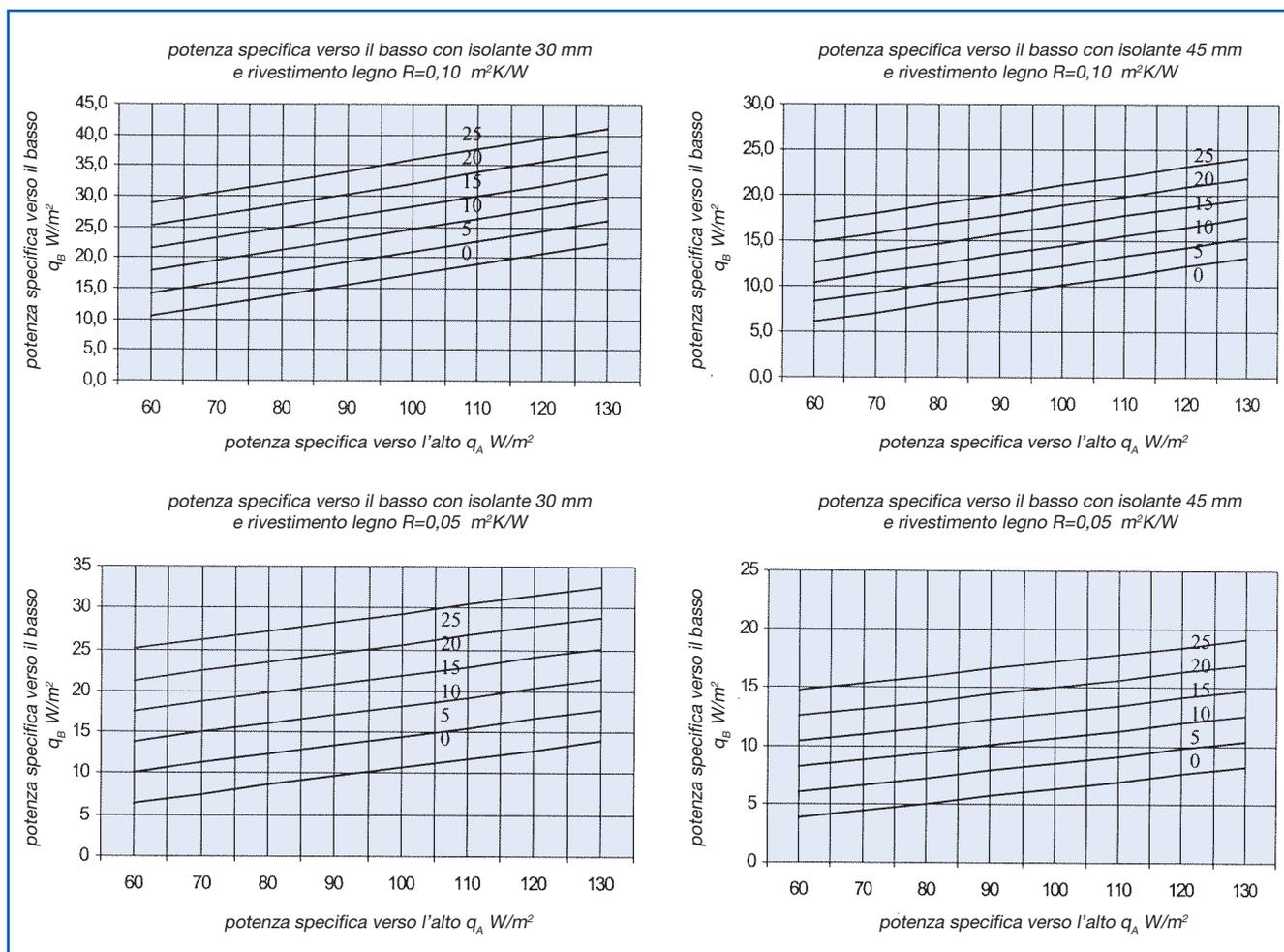
26/1 Esempi di risposta dell'impianto a pavimento ad una sollecitazione termica

## 4.2.6 Idraulica dei circuiti

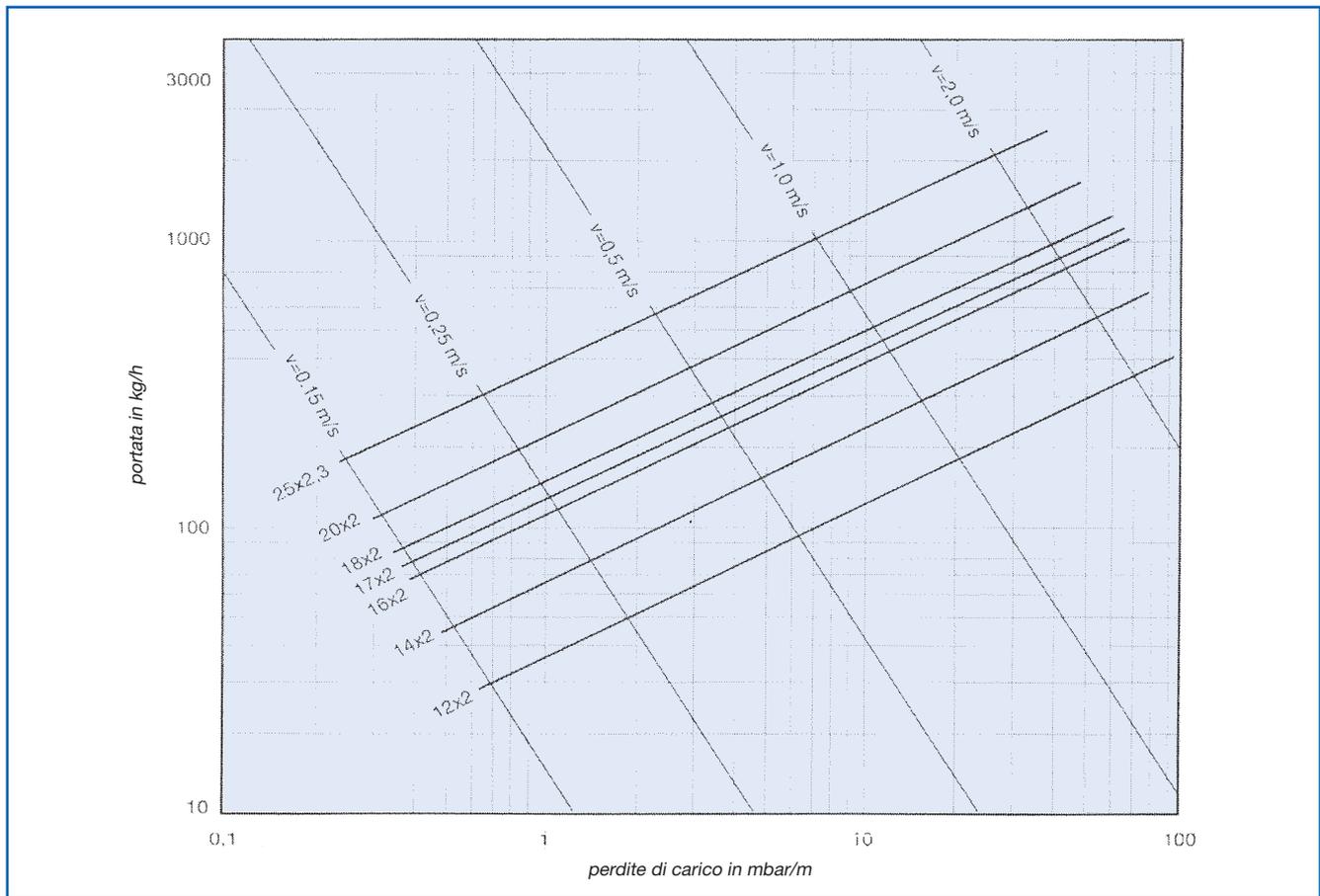
- Righe da 72 a 80

Nota la portata dei singoli circuiti è possibile calcolare le perdite di carico degli anelli (→ 27/1) e del collettore. La perdita di carico maggiore servirà co-

me riferimento per la taratura del collettore. Infatti affinché il circuito emetta la potenza richiesta dal progetto, è necessario imporre delle perdite tramite i detentori presenti sul collettore.



27/1 Perdite verso il basso in funzione della differenza di temperatura, isolamento e rivestimento nel caso di solaio comune



**28/1** Perdite di carico unitarie del tubo al variare del diametro

## 4.2.7 Dimensionamento del vaso di espansione a membrana

Secondo la DIN 4751, Parte 2, i vasi di espansione a membrana (MAG) fanno parte del corredo di sicurezza di ogni riscaldamento centralizzato a circuito chiuso e assicurano la compensazione delle variazioni di volume dell'acqua dovute al riscaldamento e raffreddamento dell'impianto.

Se nell'impianto è previsto uno scambiatore di calore per la separazione dei sistemi - ad esempio in una ristrutturazione - oppure se vengono utilizzati dei miscelatori, il vaso di espansione dovrà essere previsto sia sul lato primario che su quello secondario.

Se non correttamente dimensionati o pressurizzati, i vasi di espansione possono causare malfunzionamenti e guasti dell'impianto. Un corretto dimensionamento del MAG è perciò indispensabile.

Si suggerisce inoltre di consultare la documentazione tecnica del produttore.

Si raccomanda infine di effettuare un controllo funzionale del MAG almeno una volta all'anno!

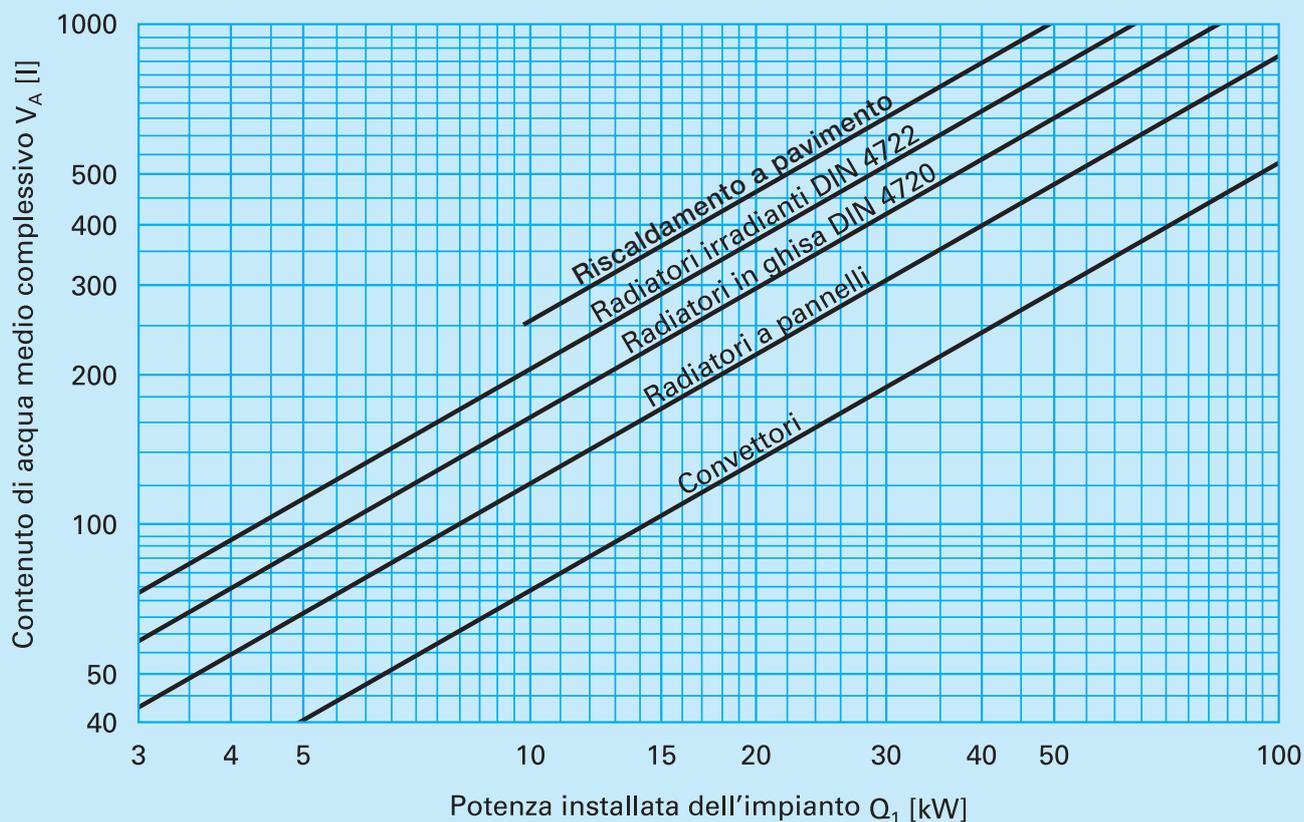
### Calcolo vaso di espansione a membrana

(secondo DIN 4807)

Dovranno essere noti i seguenti parametri di impianto:

- $V_a$  Contenuto di acqua dell'impianto di riscaldamento
- $V_{\text{Tubo}}$  0,079 dm<sup>3</sup>/m per tubo di riscaldamento 14 x 2 mm
- $L_{\text{Tubo}}$  Lunghezza del tubo
- $V_{\text{WE}}$  Volume d'acqua del generatore di calore
- $V_e$  Volume di espansione dell'impianto [dm<sup>3</sup>]
- $V_v$  Riempimento acqua del MAG [dm<sup>3</sup>]
- $V_0$  Volume utile del MAG [dm<sup>3</sup>]
- $V_n$  Volume nominale del MAG [dm<sup>3</sup>]
- $\vartheta_n$  Temperatura di riempimento dell'impianto di norma 10°C
- $\vartheta_v$  Temperatura di mandata di progetto dell'impianto [°C]
- $\vartheta_r$  Temperatura di ritorno di progetto dell'impianto [°C]
- $\vartheta_{v,\text{max}}$  Temperatura nominale massima del generatore di calore [°C]
- $n$  Espansione dell'acqua in funzione della temperatura nominale massima del generatore di calore, con una temperatura di riempimento di 10°C
- $n_r$  Espansione termica in funzione della temperatura di ritorno di progetto, con una temperatura di riempimento di 10°C
- $p_{\text{St}}$  Pressione statica dell'impianto [bar]
- $p_0$  Pressurizzazione minima del MAG [bar]
- $p_D$  Pressione di vapore (bar) (trascurabile a temp. < 100°C)
- $p_s$  Pressione iniziale dell'impianto [bar]
- $p_F$  Pressione di riempimento dell'impianto [bar]
- $p_e$  Pressione finale dell'impianto [bar]
- $p_{\text{sv}}$  Pressione di intervento della valvola di sicurezza [bar]

Volume di acqua medio di un impianto di riscaldamento centralizzato



## Esempio di calcolo:

Temperatura di riempimento dell'impianto  $\vartheta_E$  10 °C  
 Temperatura di mandata di progetto  $\vartheta_V$  45 °C  
 Temperatura di ritorno di progetto  $\vartheta_R$  35 °C  
 Temperatura nominale massima del generatore di calore  $\vartheta_{v,max}$  60 °C  
 Pressione statica (=5 m colonna d'acqua)  $p_{st}$  0,5 bar

### 1. Calcolo del volume dell'impianto $V_a$

(Caldaia con riscaldamento a pavimento da 12 kW)

$V_a = 300 \text{ dm}^3$  (secondo il diagramma)

$$V_a = VT_{ubo} \cdot I_{Tubo} + V_{WE}$$

### 2. Calcolo del volume di espansione $V_e$

$\vartheta_V$  [°C]    35    40    45    50    55    60    70

$n$  [%]        0,5   0,8   0,95   1,2   1,45   1,7   2,2

$n_R = 0,5\%$  (con una temperatura di ritorno di progetto pari a 40°C)

$n = 1,7\%$  (con la temperatura nominale massima del regolatore della caldaia)

$$V_e = V_a \cdot n / 100 = 300 \text{ dm}^3 \cdot 1,7 / 100 = 5,1 \text{ dm}^3$$

### 3. Calcolo della pressurizzazione

• Pressurizzazione del MAG  $p_0$  (colonna statica = 5 m)

$$p_0 = p_{st} + p_D + 0,2 \text{ bar} = 0,5 \text{ bar} + 0,2 \text{ bar} = 0,7 \text{ bar}$$

**Raccomandazione: usare  $p_0 \geq 1 \text{ bar}$ !**

• Pressione di intervento della valvola di sicurezza  $p_{sv}$

$$p_{sv} \geq p_0 + 1,5 \text{ bar per } p_{sv} \geq 5 \text{ bar}$$

$$p_{sv} = 1,0 \text{ bar} + 1,5 \text{ bar} = 2,5 \text{ bar} \Rightarrow 2,5 \text{ bar}$$

• Pressione finale  $p_e$

$$p_e = p_{sv} - 0,5 \text{ bar (} p_{sv} \leq 5 \text{ bar)} = 2,5 \text{ bar} - 0,5 \text{ bar} = 2 \text{ bar}$$

### 4. Calcolo del vaso

• Riempimento acqua  $V_v$

(per  $V_n > 15 \text{ dm}^3$  con  $V_v \geq 3 \text{ dm}^3$ )

$$V_v = 0,005 \cdot V_a = 0,005 \cdot 300 \text{ dm}^3 = 1,5 \text{ dm}^3$$

(per  $V_n \leq 15 \text{ dm}^3$ )

$$V_v = 0,2 < x V_n$$

• Volume utile (volume della bolla)  $V_0$

$$V_{0,min} \geq V_e + V_v \geq 6,6 \text{ dm}^3 + 1,5 \text{ dm}^3 \geq 8,1 \text{ dm}^3$$

• Volume nominale  $V_n$

$$V_n = (V_e + V_v) \cdot [(p_e + 1) / (p_e - p_0)]$$

$$= (5,1 + 1,5) \cdot [(2 + 1) / (2 - 1)] = 19,8 \text{ dm}^3$$

Si raccomanda di scegliere il primo MAG disponibile con le dimensioni appena superiori, p. es.  $V_0 = 25 \text{ dm}^3$

**Controllo:**  $V_0 > V_{0,min}$

$$25 \text{ dm}^3 \geq 8,1 \text{ dm}^3 \text{ o.k.}!$$

• Calcolo della pressione iniziale/pressione di riempimento dell'impianto  $p_a$

Per assicurare il sufficiente riempimento di acqua nel vaso, la pressione di riempimento dovrebbe essere superiore di circa 0,25 - 0,3 bar alla pressione all'interno del vaso.

La pressione iniziale  $p_a$  dovrà di norma essere equiparata alla pressione di riempimento  $p_r$ , poiché la temperatura di riempimento di 10°C rappresenta quasi sempre la temperatura minima del sistema.

$$p_{a,min} \geq p_0 + 0,3 \text{ bar}$$

(in caso contrario è necessario eseguire un calcolo per un volume nominale superiore!)

$$p_{a,min} \geq p_0 + 0,3 \text{ bar} \geq 1,0 \text{ bar} + 0,3 \text{ bar} \geq 1,3 \text{ bar}$$

$$p_e = \frac{p_e + 1}{1 + \frac{V_e (p_e + 1) \cdot (n - n_R)}{V_n \cdot (p_0 + 1) \cdot 2n}} - 1 \text{ bar} = \frac{2 + 1}{1 + \frac{5,1 \cdot (2 + 1) \cdot (1,7 - 0,5)}{19,8 \cdot (1 + 1) \cdot (2 \cdot 1,7)}} - 1 \text{ bar} = 1,64 \text{ bar}$$

$$p_a \approx 1,7 \text{ bar di sovrappressione}$$

$$p_a > p_{a,min} \text{ o.k.}!$$

## 4.2.8 Emissioni termiche

Per quanto riguarda le emissioni termiche è importante tenere presente che in un impianto a pannelli le tubazioni hanno l'unico compito di cedere calore alla struttura che a sua volta lo cede in ambiente. Per stabilire la massima emissione termica di un impianto a pavimento bisogna riferirsi alla normativa UNI 1264-2.

La norma citata stabilisce una curva caratteristica di base che fissa la relazione tra  $q$  e  $\Theta_{F,m}$  ed è applicabile a tutte le tipologie di impianti radianti.

Per  $q$  si intende il flusso termico aerico, cioè la potenza per unità di superficie ( $W/m^2$ ) e per  $\Theta_{F,m}$  la temperatura media della superficie di pavimento in °C.

$$q = 8,92x(\Theta_{F,m} - \Theta_i)^{1,1}$$

ovvero la resa di un metro quadrato di pavimento è proporzionale alla differenza tra la temperatura media del pavimento e la temperatura ambiente.

Considerando che la temperatura massima del pavimento nelle zone occupate dette anche di stazionamento è fissata in massimo 29°C e la temperatura ambiente ( $\Theta_i$ ) è normalmente considerata di 20°C, la resa massima vale:

$$q = 8,92x(29 - 20)^{1,1} \approx 100 \text{ Watt/m}^2$$

Tale valore, riesce a soddisfare le esigenze termiche della maggior parte degli edifici. In presenza di locali con ampie superfici vetrate o con un'elevata dispersione termica, la norma permette di creare delle zone "perimetrali" definite come non occupate, massimo di un metro di larghezza, ammettendo una temperatura superficiale di 35°C:

$$q = 8,92x(35 - 20)^{1,1} \approx 175 \text{ Watt/m}^2$$

Per i bagni, quando la temperatura ambiente viene fissata in 24°C, si può considerare una temperatura massima di pavimento di 33°C ( $\Delta t$  9K), la resa massima è quindi equiparata alle zone di soggiorno.

Nel caso di una chiesa nella quale la temperatura ambiente viene normalmente tenuta a valori più bassi, ad esempio 16°C, la resa è maggiore. Vale:

$$q = 8,92x(29 - 16)^{1,1} \approx 150 \text{ Watt/m}^2$$

Si può ottenere la stessa temperatura media superficiale e quindi la stessa resa termica con diversi interassi tra i tubi; maggiore sarà l'interasse e più alta dovrà essere la temperatura media dell'acqua, il tutto a discapito dell'uniformità della temperatura superficiale che sarà più elevata in corrispondenza delle tubazioni e minore sulla mezzeria dei tubi.

Anche in questo caso la definizione della curva caratteristica di base è riferita ai soli impianti a pavimento in caldo, ma sulla base della grande evoluzione avuta da questi impianti, uno studio preliminare del 2003, e cioè il CEN TC 228. Fissa le seguenti relazioni:

$$\text{Parete calda } q = 8^*(\Theta_{F,m} - \Theta_i)$$

$$\text{Parete fredda } q = 8^*(\Theta_{F,m} - \Theta_i)$$

$$\text{Soffitto caldo } q = 6^*(\Theta_{F,m} - \Theta_i)$$

$$\text{Soffitto freddo } q = 8,92^*(\Theta_{F,m} - \Theta_i)1,$$

$$\text{Pavimento freddo } q = 7^*(\Theta_{F,m} - \Theta_i)$$

Quali siano i valori nei vari casi proposti di  $\Theta_{F,m}$  lo si ricava dallo stesso studio che indica:

**Pavimento:** temperatura minima estiva di 19°C (20°C dove vi siano occupazioni sedentarie e 18°C dove vi siano occupazioni ad altro livello energetico), facendo comunque attenzione a non superare il punto di condensa.

**Parete:** temperatura massima invernale di 40°C, mentre per quel che riguarda l'estate il limite è dato dal punto di condensa, facendo comunque attenzione alle possibili correnti discendenti di aria fredda.

**Soffitto:** per questa applicazione il criterio da adottare sia in caldo che in freddo è quello della "asimmetria radiante" che deve essere inferiore a 5 K in caldo e a 14 K in freddo per portare ad una sensazione di comfort (meno del 5% degli occupanti dell'ambiente insoddisfatti). Si prenda ad esempio un ambiente di 2,4 x 4,8 m, alto 2,7 m. Per il calcolo della asimmetria radiante per una persona seduta al centro dell'ambiente in accordo con la ISO EN 7726 si assume un fattore di 0,42 per il soffitto. Ipotizzando quindi di avere tutto il soffitto riscaldato alla medesima temperatura, con l'ambiente a 20°C, e tenendo l'asimmetria inferiore a 5 K si ha:

$$0,42x\Theta_F + (1-0,42)x 20^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} < 5\text{K}$$

Questo significa che la massima temperatura media del soffitto potrà essere di 32°C. Per il freddo con temperatura ambiente di 26°C il calcolo sarà:

$$0,42 x \Theta_F + (1-0,42) x 26^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C} < -14\text{K}$$

Quindi la limitazione teorica della temperatura in estate sul soffitto è di 7°C, anche se il limite reale è come al solito il punto di condensa.

	Temperatura superficiale limite		Flusso termico aerico massimo ( $W/m^2$ )	
	riscaldamento	raffrescamento	riscaldamento	raffrescamento
Pavimento zona di stazionamento	29	19	99	42
Pavimento zona perimetrale	35	19	165	42
Parete	+ 40	17	160	72
Soffitto	+ 27	17	42	99

## 5 Impianti a pannelli radianti a pavimento

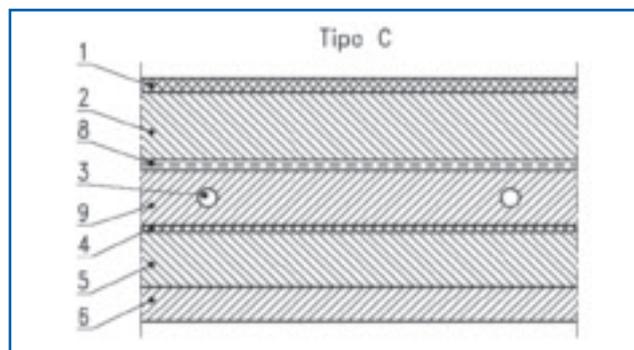
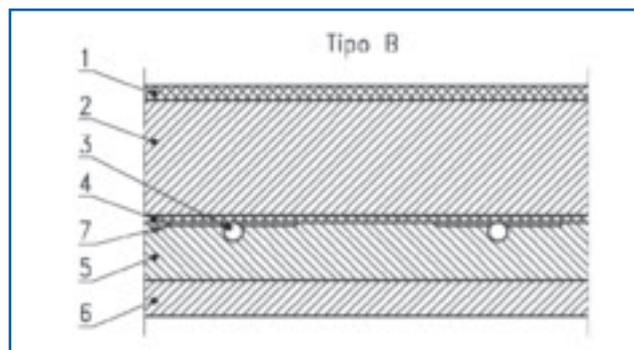
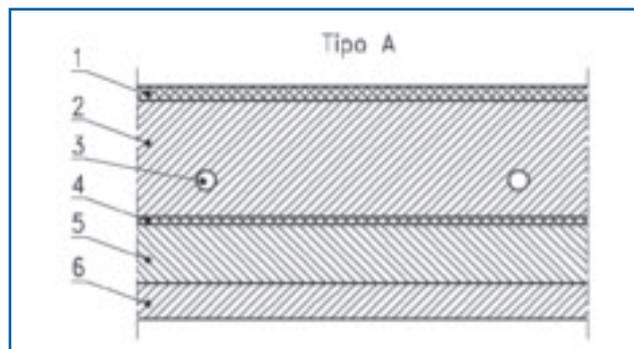
Esistono molte alternative sui materiali da impiegare per realizzare un impianto a pavimento a pannelli radianti. Esse consistono in diverse tipologie di pannelli con differenti soluzioni di ancoraggio del tubo allo strato isolante sottostante e relativo spessore.

In **ambito civile** si possono suddividere in due famiglie:

- sistemi a pannelli di polistirene preformati con spessa barriera al vapore. Questi accolgono il tubo ancorandolo saldamente con dei funghetti che presentano un angolo sottosquadra. Lo spessore della barriera al vapore è fondamentale per un solido ancoraggio del tubo e la massima stabilità del funghetto al calpestio.
- sistemi a pannelli di polistirene lisci con barriera al vapore, tipo foglio d'ancoraggio, con disegnato il reticolo per la posa, ai quali ancorare il tubo con delle clips o con dei binari.

Esistono poi varianti date dal materiale isolante (compreso il sughero naturale compresso ed il sistema a secco), dallo spessore di quest'ultimo e dal tubo impiegato distinto per materiale (PE-Xa, PE-Xc piuttosto che il multistrato) o per diametro.

La struttura di un impianto a pannelli radianti a pavimento è riportata nel disegno (→ 32/1) in sezione, che secondo il sistema di classificazione della normativa UNI EN 1264-1 risulta essere di tipo A. **“Lo spessore nominale sopra i tubi di riscaldamento (altezza di copertura) deve essere, per ragioni costruttive, almeno 3 volte maggiore della dimensione massima dei granelli del materiale aggregato e comunque di almeno 30 mm.”** (Norma UNI EN 1264-4 4.2.8.1). Questa norma si riferisce al massetto comune e non a particolari tipi come la copertura con asfalto. Il massetto viene anche identificato come strato di supporto o strato di ripartizione del carico. Da queste ultime due definizioni risulta chiara l'importanza, per la durata dell'impianto a pannelli radianti a pavimento, di un'esecuzione a regola d'arte del massetto da parte di una ditta specializzata, con degli spessori opportuni. Si ricorda che, a parità di qualità e posa del massetto, all'aumentare dello spessore dello strato di ripartizione del carico aumenta il carico ammissibile sul pavimento.



32/1 Tipi di strutture di pavimenti riscaldanti secondo la UNI EN 1264

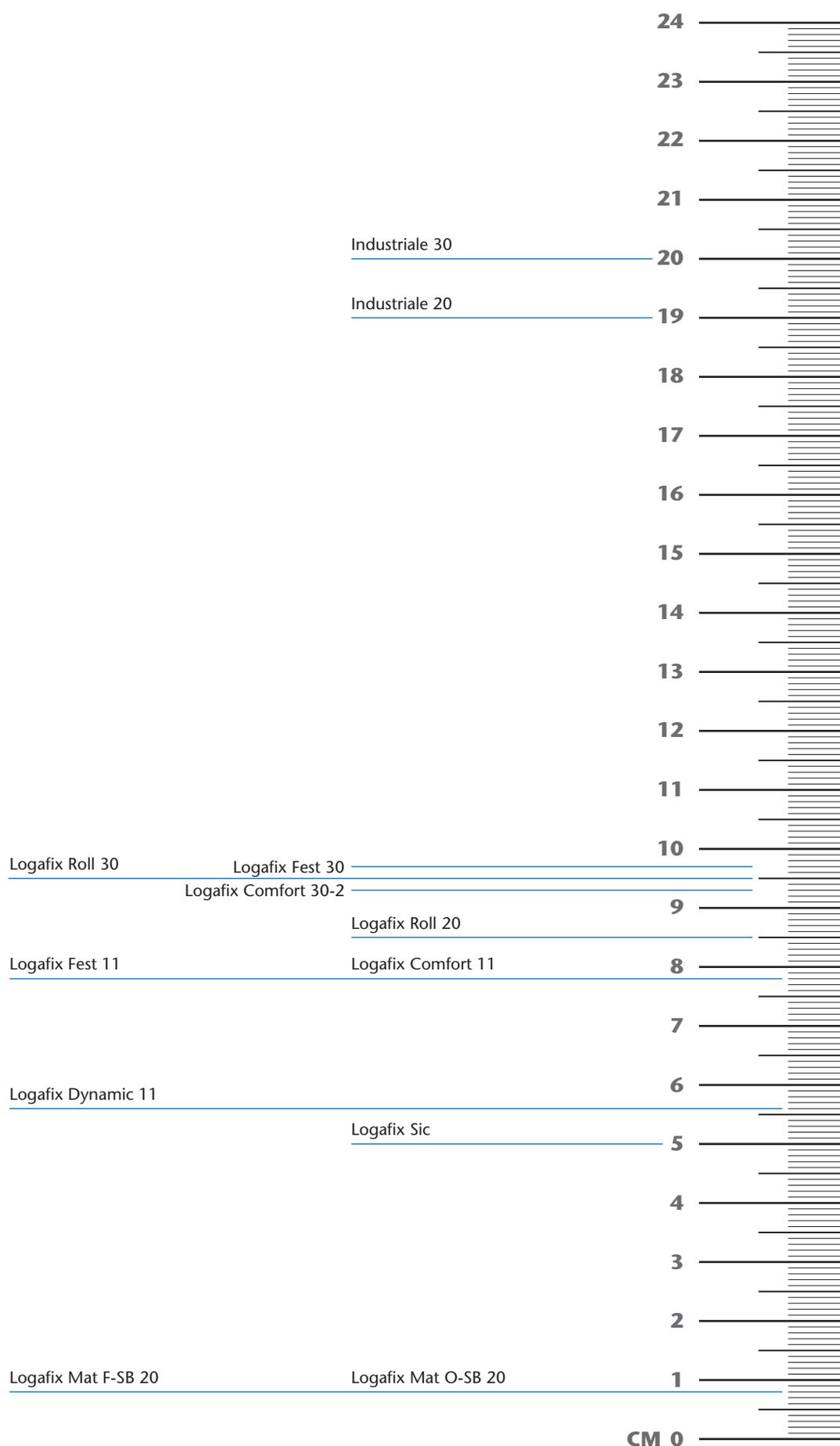
### Legenda

- |                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Rivestimento del pavimento | 6 Soletta portante                |
| 2 Strato di supporto         | 7 Elemento conduttivo addizionale |
| 3 Tubo riscaldante           | 8 Strato di separazione           |
| 4 Strato di protezione       | 9 Strato livellante               |
| 5 Strato di isolamento       |                                   |

### 5.1 Criteri per la scelta

Tecnologia	TIPOLOGIA	APPLICAZIONE			
		Residenziale		Terziario	Industria
		Nuova costruzione	Ristrutturazione		
IMPIANTO RADIANTE PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO	A pavimento	Logafix Roll (liscio) Logafix Comfort (preformato) Logafix Fest (preformato) Ecologico (sughero) Logafix Sic (secco)	Logafix Comfort (preformato) Logafix Fest (preformato) Logafix Sic (secco)	Logafix Roll (liscio) Logafix Comfort (preformato) Logafix Fest (preformato)	Industriale
	A parete	Logafix Wall (con binario) Logafix Dynamic (preformato)	Logafix Wall (con binario) Logafix Dynamic (preformato)	Logafix Wall (con binario) Logafix Dynamic (preformato)	-
	Universale (pavimento, parete, soffitto)	Logafix Mat (a capillari)	Logafix Mat (a capillari)	Logafix Mat (a capillari)	-

## 5.2 Ingombro minimo dei sistemi compreso di massetto, pavimentazione esclusa



# Buderus

**Buderus S.p.A.: via Enrico Fermi, 40/42 - 20090 ASSAGO (MI) - Tel. 02.48861111 - Fax 02.48861100 - e-mail: [buderus.milano@buderus.it](mailto:buderus.milano@buderus.it)**

Filiale: via Alto Adige, 164/D - 38121 TRENTO - Tel. 0461 967411 - Fax 0461 967408 - e-mail: [buderus.trento@buderus.it](mailto:buderus.trento@buderus.it)

Filiale: via Poirino, 67 - 10022 CARMAGNOLA (TO) - Tel. 011 9723425 - Fax 011 9715723 - e-mail: [buderus.torino@buderus.it](mailto:buderus.torino@buderus.it)

Filiale: via M. G. Piovesana, 109 - 31015 CONEGLIANO (TV) - Tel. 0438 22469 - Fax 0438 21127 - e-mail: [buderus.conegliano@buderus.it](mailto:buderus.conegliano@buderus.it)

Filiale: via dell'Artigianato, 16 Z.I. - 63100 ASCOLI PICENO - Tel. 0736 44924 - Fax 0736 45436 - e-mail: [buderus.ascoli@buderus.it](mailto:buderus.ascoli@buderus.it)

Filiale: via Palladio, 34 - 33010 TAVAGNACCO (UD) - Tel. 0432 630888 - Fax 0432 575325 - e-mail: [buderus.udine@buderus.it](mailto:buderus.udine@buderus.it)

Filiale: via Valle Po, 145/b - Fraz. Madonna dell'Olmo - 12100 CUNEO - Tel. 0171 413184 - Fax 0171 417252 - e-mail: [buderus.cuneo@buderus.it](mailto:buderus.cuneo@buderus.it)

Filiale: via Dalmine, 19 - 24035 CURNO (BG) - Tel. 035 4375196 - Fax 035 614179 - e-mail: [buderus.bergamo@buderus.it](mailto:buderus.bergamo@buderus.it)

Filiale: via Emilia Est, 1058/A - 41126 MODENA - Tel. 059 285243 - Fax 059 2861420 - e-mail: [buderus.modena@buderus.it](mailto:buderus.modena@buderus.it)

Filiale: via del Lavoro, 104 - 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) - Tel. 051 6167173 - Fax 051 6188015 - e-mail: [buderus.bologna@buderus.it](mailto:buderus.bologna@buderus.it)

Filiale: via del Progresso, 30 - 35127 PADOVA - Tel. 049 8703336 - Fax 049 8706121 - e-mail: [buderus.padova@buderus.it](mailto:buderus.padova@buderus.it)

Filiale: via del Ponte a Creve, 54/56 - 50018 SCANDICCI (FI) - Tel. 055 2579150 - Fax 055 2591875 - e-mail: [buderus.firenze@buderus.it](mailto:buderus.firenze@buderus.it)

Ufficio regionale: via T. Ascarelli, 283 - 00166 ROMA - Tel. 06 66993261 - Fax 06 66180290 - e-mail: [buderus.roma@buderus.it](mailto:buderus.roma@buderus.it)

[www.buderus.it](http://www.buderus.it) - [www.casabuderus.it](http://www.casabuderus.it)