



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**DIMENSIONAMENTO DI PANNELLI RADIANTI  
PER IL RISCALDAMENTO DI UN EDIFICIO AD ENERGIA ZERO**

**DESIGN OF RADIANT PANELS  
FOR HEATING A ZERO ENERGY BUILDING**

Relatore:

Chiar.mo Prof. Ing. Costanzo Di Perna

Tesi di Laurea di:

Giorgio Cardoni

Anno Accademico 2020 / 2021

# Indice

<b>Introduzione .....</b>	<b>2</b>
<b>Capitolo 1 - Componenti opachi e calcolo del fabbisogno termico.....</b>	<b>4</b>
1.1 Definizione dei componenti opachi.....	4
1.2 Definizione di ponti termici.....	4
1.3 Tipologie di componenti opachi presenti nella struttura .....	5
1.4 Tipologie di ponti termici presenti nella struttura .....	23
1.5 Dimensionamento dei componenti opachi .....	29
1.6 Dimensionamento dei ponti termici .....	35
1.7 Contributo dovuto al ricambio d'aria .....	36
1.8 Calcolo del fabbisogno termico.....	38
1.8.1 Energia termica dispersa verso l'esterno $Q_1$ .....	39
1.8.2 Energia termica dispersa verso locali confinanti non riscaldati $Q_2$ .....	41
1.8.3 Energia termica dispersa attraverso i ponti termici $Q_3$ .....	42
1.8.4 Energia termica dispersa per ricambio d'aria $Q_4$ .....	43
1.8.5 Energia termica in entrata per apporto solare $Q_s$ .....	45
1.8.6 Potenza termica totale dispersa $Q_u$ .....	46
<b>Capitolo 2 - Dimensionamento dei pannelli radianti .....</b>	<b>48</b>
2.1 Generalità sui pannelli radianti.....	48
2.2 Parametri richiesti.....	56
2.3 Calcolo dei pannelli.....	66
2.4 Parametri da determinare.....	85
<b>Conclusione.....</b>	<b>90</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>92</b>
<b>Ringraziamenti .....</b>	<b>93</b>

## **Introduzione**

Alla base di questa tesi di laurea vi è il dimensionamento dei pannelli radianti a pavimento di un locale della struttura analizzata, eseguito rispettando le ultime norme aggiornate e in particolare la norma UNI EN 1264.

La costruzione analizzata sui cui è stato fatto il dimensionamento è la nuova scuola primaria e per l'infanzia situata nel comune di Muccia (MC) – Loc. Largo Fedeli, ricostruita a seguito del terremoto dalla Andrea Bocelli Foundation.

Questa struttura è stata costruita con l'obiettivo di entrare a far parte degli edifici a energia quasi zero, ovvero edifici che hanno un'elevata prestazione energetica. Per raggiungere questo fine si è ricorso ad una attenta progettazione in campo edile, realizzando un rivestimento molto prestazionale, e applicando come impianto di riscaldamento i pannelli radianti a pavimento.

Il dimensionamento dei pannelli, alla base dell'elaborato, è stato eseguito sul locale "ATTIVITA' ORDINATE" della scuola dell'infanzia, un luogo utilizzato per le principali attività scolastiche dove, dunque, si è soliti soffermarsi in permanenza.

La tesi si articola in due capitoli principali:

Nel primo capitolo vengono trattati i componenti opachi e i ponti termici presenti nella struttura; caratteristiche cruciali per il calcolo del fabbisogno termico che interessa il locale, vale a dire il calcolo del carico termico richiesto all'impianto di riscaldamento.

Si precisa inoltre, che l'intero processo è stato svolto seguendo l'iter proposto dalle norme e non utilizzando software appositi per il calcolo di questi parametri. In tal modo ho potuto verificare e comprendere ogni

singolo aspetto nel miglior modo, soffermandomi nella loro importanza all'interno del dimensionamento dei pannelli radianti.

Nel secondo capitolo, partendo dal fabbisogno termico calcolato in precedenza, si giunge al completamento del dimensionamento dei pannelli radianti appartenenti al locale; andando a determinare tutti i parametri richiesti dalla norma e verificandone in seguito la loro accettabilità.

Nelle conclusioni finali di questa tesi vengono esposti i risultati del procedimento, ma in particolare si valuta l'utilizzo e l'efficacia dei pannelli radianti; sottolineando poi quando essi risultano essere effettivamente un vantaggio per il riscaldamento di un edificio.

Durante tutto il dimensionamento vengono riportate oltre alle formule utilizzate, i calcoli e le varie planimetrie.

# **Capitolo 1**

## **Componenti opachi e calcolo del fabbisogno termico**

### **1.1 Definizione dei componenti opachi**

Il primo passo per il dimensionamento dei pannelli radianti consiste nel considerare tutti i componenti opachi presenti nel progetto definito dall'architetto. Con componenti opachi si intendono tutti gli elementi divisori che separano un ambiente riscaldato da uno non riscaldato o a diversa temperatura.

Ogni componente opaco è caratterizzato da una precisa stratigrafia, definita dalla scelta dei materiali di costruzione. Lo studio di ogni strato ci permette di ricavare le caratteristiche complessive termiche e igrometriche del componente in questione.

### **1.2 Definizione di ponti termici**

Oltre ai componenti opachi, in cui lo scambio termico può essere ipotizzato per semplicità di calcolo ad un flusso monodimensionale, in una struttura esistono sicuramente delle zone in cui il flusso non è ipotizzabile come tale. In corrispondenza di queste aree, definite ponti termici (ad esempio: pilastri, spigoli, ecc...), lo scambio termico sarà bensì bidimensionale o tridimensionale.

### **1.3 Tipologie di componenti opachi presenti nella struttura**

Di seguito sono elencate le varie tipologie di componenti opachi presenti nella struttura:

- Parete portante esterna (M1)
- Parete portante interna (M2)
- Parete divisoria interna (M3)
- Pavimento controterra (P1)
- Solaio di copertura (S1)
- Controsoffitto (S2)
- Infisso 90x240 (W1)
- Infisso 90x90 (W2)
- Infisso 80x140 (W3)

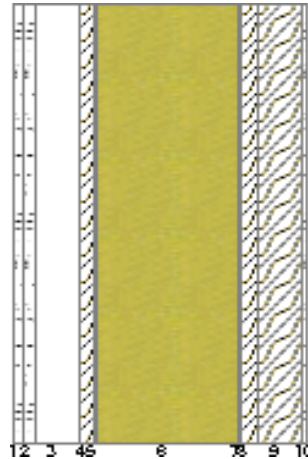
Vengono inoltre riportate le caratteristiche termiche di ogni componente opaco.

Queste proprietà sono state ricavate considerando la stratigrafia di ogni componente, una temperatura esterna minima di progetto di  $-3,9^{\circ}\text{C}$  e una temperatura interna di progetto di  $20^{\circ}\text{C}$ .

CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI OPACHI  
secondo UNI EN 12831 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370

Descrizione della struttura: **Parete portante esterna**

Codice: **M1**



Trasmittanza termica	<b>0,163</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>330</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-3,9</b>	°C
Permeanza	<b>2,724</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>81</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>48</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,061</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,377</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-10,5</b>	h

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	13,00	0,250	0,052	900	1,00	10
2	Cartongesso in lastre	13,00	0,250	0,052	900	1,00	10
3	Intercapedine non ventilata $Av < 500$ mm <sup>2</sup> /m	50,00	0,278	0,180	-	-	-
4	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	18,00	0,120	0,150	450	1,60	625
5	Barriera vapore in fogli di polietilene	0,50	0,500	0,001	980	1,80	100000
6	ROCKWOOL-Acoustic 225	160,00	0,035	4,571	70	1,03	1
7	Telo traspirante	0,50	0,220	0,002	400	1,70	280
8	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	18,00	0,120	0,150	450	1,60	625
9	Lana di legno mineralizzata (cemento Portland)	50,00	0,065	0,769	400	1,47	3
10	Intonaco plastico per cappotto	7,00	0,300	0,023	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

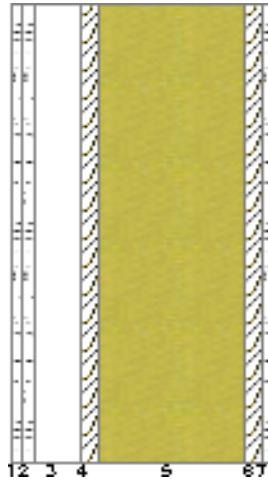
s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-



CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI OPACHI  
secondo UNI EN 12831 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370

Descrizione della struttura: **Parete portante interna**

Codice: **M2**



Trasmittanza termica	<b>0,183</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>285</b>	mm
Permeanza	<b>8,673</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>58</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>23</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,139</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,761</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-5,7</b>	h

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	13,00	0,250	0,052	900	1,00	10
2	Cartongesso in lastre	13,00	0,250	0,052	900	1,00	10
3	Intercapedine non ventilata $A_v < 500$ mm <sup>2</sup> /m	50,00	0,278	0,180	-	-	-
4	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	18,00	0,120	0,150	450	1,60	625
5	ROCKWOOL- 211	160,00	0,035	4,571	40	1,03	1
6	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	18,00	0,120	0,150	450	1,60	625
7	Cartongesso in lastre	13,00	0,250	0,052	900	1,00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

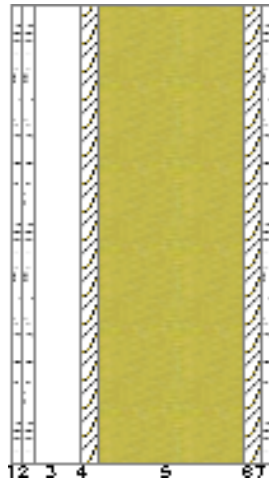
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI OPACHI  
secondo UNI EN 12831 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370

Descrizione della struttura: **Parete divisoria interna**

Codice: **M3**



Trasmittanza termica	<b>0,183</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>285</b>	mm
Permeanza	<b>8,673</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>58</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>23</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,139</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,761</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-5,7</b>	h

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	13,00	0,250	0,052	900	1,00	10
2	Cartongesso in lastre	13,00	0,250	0,052	900	1,00	10
3	Intercapedine non ventilata $A_v < 500$ mm <sup>2</sup> /m	50,00	0,278	0,180	-	-	-
4	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	18,00	0,120	0,150	450	1,60	625
5	ROCKWOOL- 211	160,00	0,035	4,571	40	1,03	1
6	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	18,00	0,120	0,150	450	1,60	625
7	Cartongesso in lastre	13,00	0,250	0,052	900	1,00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI OPACHI  
secondo UNI EN 12831 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370

Descrizione della struttura: **Pavimento controterra**

Codice: **P1**



Trasmittanza termica	<b>0,251</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza controterra	<b>0,129</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>508</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-3,9</b>	°C
Permeanza	<b>0,001</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>513</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>513</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,020</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,151</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-15,1</b>	h

Stratigrafia:

N	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	15,00	1,300	0,012	2300	0,84	999999
2	C.l.s. con massa volumica media	50,00	1,150	0,043	1800	1,00	100
3	Tubo del pannello - H30	0,00	-	-	-	-	-
4	Polistirene espanso per STANDARD BASE	38,00	0,034	1,118	25	1,30	70
5	Polistirene espanso, estruso con pelle	60,00	0,034	1,765	30	1,45	60
6	C.l.s. in genere	85,00	0,190	0,447	400	1,00	96
7	Impermeabilizzazione con bitume	10,00	0,170	0,059	1200	1,00	188000
8	C.l.s. armato (2% acciaio)	50,00	2,500	0,020	2400	1,00	130
9	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

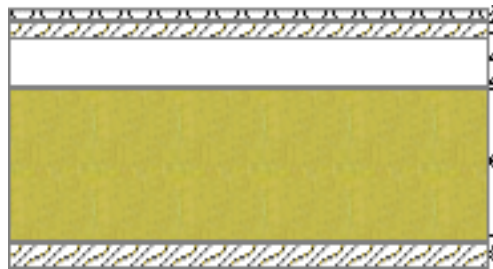
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI OPACHI  
secondo UNI EN 12831 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370

Descrizione della struttura: **Solaio di copertura**

Codice: **S1**



Trasmittanza termica	<b>0,201</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>266</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>-3,9</b>	°C
Permeanza	<b>1,719</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>62</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>62</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>0,135</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,675</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-6,8</b>	h

Stratigrafia:

N	Descrizione strato	s	Cond	R	M.V	C.T	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-
1	Coppi	10,00	1,000	-	2000	0,80	-
2	Impermeabilizzazione con bitume	4,00	0,170	-	1200	1,00	-
3	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	15,00	0,120	-	450	1,60	-
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=1000 mm <sup>2</sup> /m	50,00	-	-	-	-	-
5	Telo traspirante	0,50	0,220	-	400	1,70	280
6	ROCKWOOL-Hardrock Energy	160,00	0,036	-	110	1,03	1
7	Barriera vapore in fogli di polietilene	1,00	0,500	-	980	1,80	100000
8	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	25,00	0,120	-	450	2,70	643
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-



CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI OPACHI  
secondo UNI EN 12831 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370

Descrizione della struttura: **Controsoffitto**

Codice: **S2**



Trasmittanza termica	<b>3,968</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore	<b>13</b>	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	<b>18,5</b>	°C
Permeanza	<b>1538,4</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale (con intonaci)	<b>62</b>	kg/m <sup>2</sup>
Massa superficiale (senza intonaci)	<b>12</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza periodica	<b>3,964</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione	<b>0,999</b>	-
Sfasamento onda termica	<b>-0,2</b>	h

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	13,00	0,250	0,052	900	1,00	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

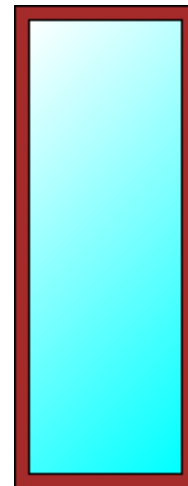
CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI  
secondo UNI EN 12831 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 10070

Descrizione della finestra: Infisso 90x240

Codice: W1

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	<b>Singolo</b>
Classe di permeabilità	<b>Classe 4 secondo Norma UNI EN 12207</b>
Trasmittanza termica	$U_w$ <b>1,531</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza solo vetro	$U_g$ <b>1,466</b> W/m <sup>2</sup> K



Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività	$\epsilon$	<b>0,837</b>	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	<b>0,30</b>	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	<b>0,30</b>	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	<b>0,670</b>	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure	<b>0,00</b>	m <sup>2</sup> K/W
f shut	<b>0,6</b>	-

Dimensioni del serramento

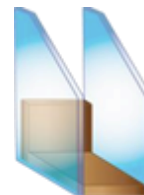
Larghezza	<b>90,0</b>	cm
Altezza	<b>240,0</b>	cm

### Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	$U_f$	<b>1,10</b>	$W/m^2K$
K distanziale	$K_d$	<b>0,05</b>	$W/mK$
Area totale	$A_w$	<b>2,160</b>	$m^2$
Area vetro	$A_g$	<b>1,718</b>	$m^2$
Area telaio	$A_f$	<b>0,442</b>	$m^2$
Fattore di forma	$F_f$	<b>0,80</b>	-
Perimetro vetro	$L_g$	<b>6,040</b>	m
Perimetro telaio	$L_f$	<b>6,600</b>	m

### Caratteristiche del pacchetto vetrato

<b>Descrizione strato</b>	<b>s</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>R</b>
Resistenza superficiale interna	-	-	<b>0,130</b>
Primo vetro	<b>6,0</b>	<b>1,00</b>	<b>0,006</b>
Intercapedine	-	-	<b>0,500</b>
Secondo vetro	<b>6,0</b>	<b>1,00</b>	<b>0,006</b>
Resistenza superficiale esterna	-	-	<b>0,040</b>



### Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduttività termica	$W/mK$
R	Resistenza termica	$m^2K/W$

### Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	$U$	<b>1,531</b>	$W/m^2K$
---------------------------------	-----	--------------	----------

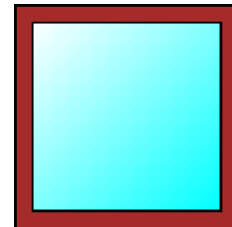
CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI  
secondo UNI EN 12831 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 10070

Descrizione della finestra: Infisso 90x90

Codice: W2

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	<b>Singolo</b>
Classe di permeabilità	<b>Classe 4 secondo Norma UNI EN 12207</b>
Trasmittanza termica	$U_w$ <b>1,552</b> $W/m^2K$
Trasmittanza solo vetro	$U_g$ <b>1,471</b> $W/m^2K$



Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività	$\epsilon$	<b>0,837</b>	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	<b>0,30</b>	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	<b>0,30</b>	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	<b>0,670</b>	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure	<b>0,00</b>	$m^2K/W$
f shut	<b>0,6</b>	-

Dimensioni del serramento

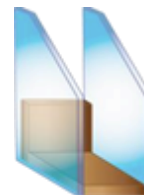
Larghezza	<b>90,0</b>	cm
Altezza	<b>90,0</b>	cm

### Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	$U_f$	<b>1,10</b>	$W/m^2K$
K distanziale	$K_d$	<b>0,05</b>	$W/mK$
Area totale	$A_w$	<b>0,810</b>	$m^2$
Area vetro	$A_g$	<b>0,578</b>	$m^2$
Area telaio	$A_f$	<b>0,232</b>	$m^2$
Fattore di forma	$F_f$	<b>0,71</b>	-
Perimetro vetro	$L_g$	<b>3,040</b>	m
Perimetro telaio	$L_f$	<b>3,600</b>	m

### Caratteristiche del pacchetto vetrato

<b>Descrizione strato</b>	<b>s</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>R</b>
Resistenza superficiale interna	-	-	<b>0,130</b>
Primo vetro	<b>6,0</b>	<b>1,00</b>	<b>0,006</b>
Intercapedine	-	-	<b>0,500</b>
Secondo vetro	<b>4,0</b>	<b>1,00</b>	<b>0,004</b>
Resistenza superficiale esterna	-	-	<b>0,040</b>



### Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduttività termica	$W/mK$
R	Resistenza termica	$m^2K/W$

### Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	$U$	<b>1,552</b>	$W/m^2K$
---------------------------------	-----	--------------	----------

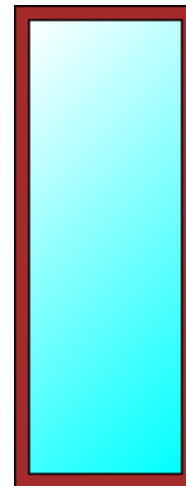
CARATTERISTICHE TERMICHE DEI COMPONENTI FINESTRATI  
secondo UNI EN 12831 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 10070

Descrizione della finestra: Infisso 80x140

Codice: W3

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	<b>Singolo</b>
Classe di permeabilità	<b>Classe 4 secondo Norma UNI EN 12207</b>
Trasmittanza termica	$U_w$ <b>1,547</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza solo vetro	$U_g$ <b>1,471</b> W/m <sup>2</sup> K



Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività	$\epsilon$	<b>0,837</b>	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	<b>0,30</b>	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	<b>0,30</b>	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	<b>0,670</b>	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure	<b>0,00</b>	m <sup>2</sup> K/W
f shut	<b>0,6</b>	-

Dimensioni del serramento

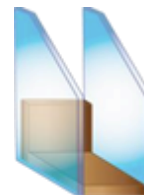
Larghezza	<b>80,0</b>	cm
Altezza	<b>140,0</b>	cm

### Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	$U_f$	<b>1,10</b>	$W/m^2K$
K distanziale	$K_d$	<b>0,05</b>	$W/mK$
Area totale	$A_w$	<b>1,120</b>	$m^2$
Area vetro	$A_g$	<b>0,832</b>	$m^2$
Area telaio	$A_f$	<b>0,288</b>	$m^2$
Fattore di forma	$F_f$	<b>0,74</b>	-
Perimetro vetro	$L_g$	<b>3,840</b>	m
Perimetro telaio	$L_f$	<b>4,400</b>	m

### Caratteristiche del pacchetto vetrato

<b>Descrizione strato</b>	<b>s</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>R</b>
Resistenza superficiale interna	-	-	<b>0,130</b>
Primo vetro	<b>6,0</b>	<b>1,00</b>	<b>0,006</b>
Intercapedine	-	-	<b>0,500</b>
Secondo vetro	<b>4,0</b>	<b>1,00</b>	<b>0,004</b>
Resistenza superficiale esterna	-	-	<b>0,040</b>



### Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduttività termica	$W/mK$
R	Resistenza termica	$m^2K/W$

### Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	$U$	<b>1,547</b>	$W/m^2K$
---------------------------------	-----	--------------	----------

## **1.4 Tipologie di ponti termici presenti nella struttura**

Di seguito sono elencate le varie tipologie di ponti termici presenti nella struttura:

- Infisso – Parete – Telaio (Z1)
- Parete – Solaio controterra (Z2)
- Parete – Copertura (Z3)

Vengono inoltre riportate le caratteristiche termiche di ogni ponte termico.

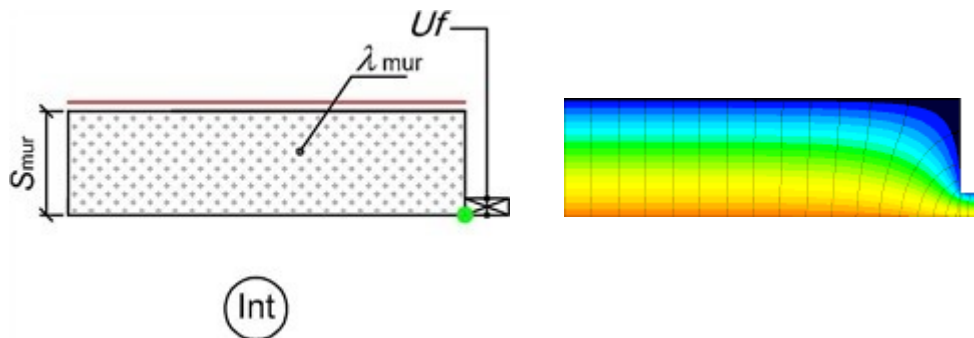


## CARATTERISTICHE TERMICHE DEI PONTI TERMICI

Descrizione del ponte termico: **Infisso – Parete - Telaio**

Codice: **Z1**

Tipologia	<b>Infisso – Parete - Telaio</b>
Trasmittanza termica lineica di calcolo	<b>0,033</b> W/mK
Trasmittanza termica lineica di riferimento	<b>0,033</b> W/mK
Fattore di temperature $f_{rsi}$	<b>0,814</b> -
Riferimento	<b>UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211</b>
Note	<b>W16 – Giunto parete con isolamento ripartito – Telaio posto a filo interno Trasmittanza termica lineica di riferimento (<math>\varphi_e</math>) = 0,033 W/mK</b>



### Caratteristiche

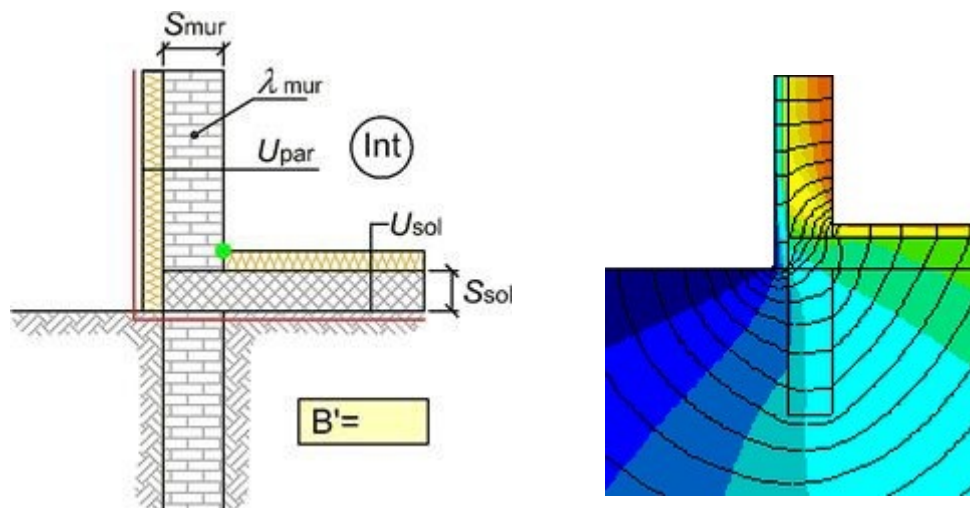
Trasmittanza termica telaio	$U_f$	<b>1,1000002</b>	W/m <sup>2</sup> K
Spessore muro	$S_{mur}$	<b>160,0</b>	mm
Conduktività termica muro	$\lambda_{mur}$	<b>0,100</b>	W/mK

## CARATTERISTICHE TERMICHE DEI PONTI TERMICI

Descrizione del ponte termico: Parete – Solaio controterra

Codice: Z2

Tipologia	<b>Parete – Solaio controterra</b>
Trasmittanza termica lineica di calcolo	<b>-0,010 W/mK</b>
Trasmittanza termica lineica di riferimento	<b>-0,020 W/mK</b>
Fattore di temperature $f_{rsi}$	<b>0,784 -</b>
Riferimento	<b>UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211</b>
Note	<b>GF5 – Giunto parete con isolamento esterno – Solaio controterra con isolamento all'estradosso</b> <b>Trasmittanza termica lineica di riferimento (<math>\varphi_e</math>) = -0,020 W/mK</b>



Caratteristiche

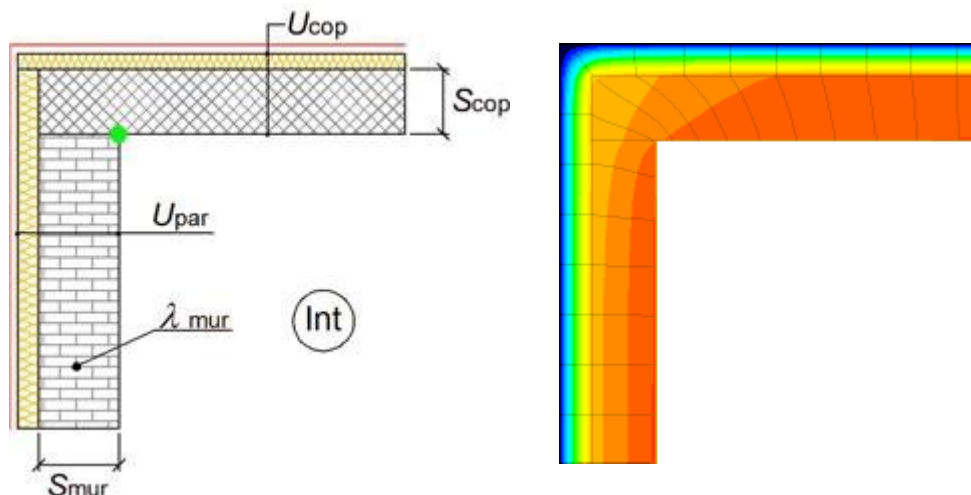
Dimensione caratteristica del pavimento	$B'$	<b>8,35</b> m
Spessore solaio	$S_{sol}$	<b>250,0</b> mm
Spessore muro	$S_{mur}$	<b>258,0</b> mm
Trasmittanza termica solaio	$U_{sol}$	<b>0,166</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica parete	$U_{par}$	<b>0,148</b> W/m <sup>2</sup> K
Conduttività termica muro	$\lambda_{mur}$	<b>0,250</b> W/mK

## CARATTERISTICHE TERMICHE DEI PONTI TERMICI

Descrizione del ponte termico: Parete – Copertura

Codice: Z3

Tipologia	<b>Parete – Copertura</b>
Trasmittanza termica lineica di calcolo	<b>-0,028 W/mK</b>
Trasmittanza termica lineica di riferimento	<b>-0,055 W/mK</b>
Fattore di temperature $f_{rsi}$	<b>0,897 -</b>
Riferimento	<b>UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211</b>
Note	<b>R9 – Giunto parete con isolamento esterno continuo – Copertura isolata esternamente</b> <b>Trasmittanza termica lineica di riferimento (<math>\varphi_e</math>) = -0,055 W/mK</b>



Caratteristiche

Spessore copertura	$S_{\text{cop}}$	<b>100,0</b> mm
Spessore muro	$S_{\text{mur}}$	<b>258,0</b> mm
Trasmittanza termica copertura	$U_{\text{cop}}$	<b>0,188</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica parete	$U_{\text{par}}$	<b>0,148</b> W/m <sup>2</sup> K
Conduttività termica muro	$\lambda_{\text{mur}}$	<b>0,250</b> W/mK

## 1.5 Dimensionamento dei componenti opachi

Una volta ricavate tutte le caratteristiche dei vari componenti opachi e dei ponti termici, si procede allo studio del locale della struttura. Per il locale analizzato, verranno selezionati e dimensionati i componenti opachi e i ponti termici.

Tutte le dimensioni delle varie superfici sono state prese dal progetto di costruzione, tranne per l'altezza dell'edificio/locale. Infatti, la copertura dei vari locali consiste in una superficie inclinata, non regolare (come si può vedere in figura 1); dunque, per semplicità di calcolo viene considerata l'altezza media della struttura.

Attraverso il volume e la superficie dell'edificio ci si può ricavare, con la seguente formula, l'altezza media.

$$\text{Altezza media dell'edificio} = \frac{\text{Volume dell'edificio}}{\text{Superficie dell'edificio}}$$

in numeri si ha

$$\text{Altezza media dell'edificio} = \frac{3548,6 \text{ m}^3}{720,3 \text{ m}^2} = 4,93 \text{ m}$$

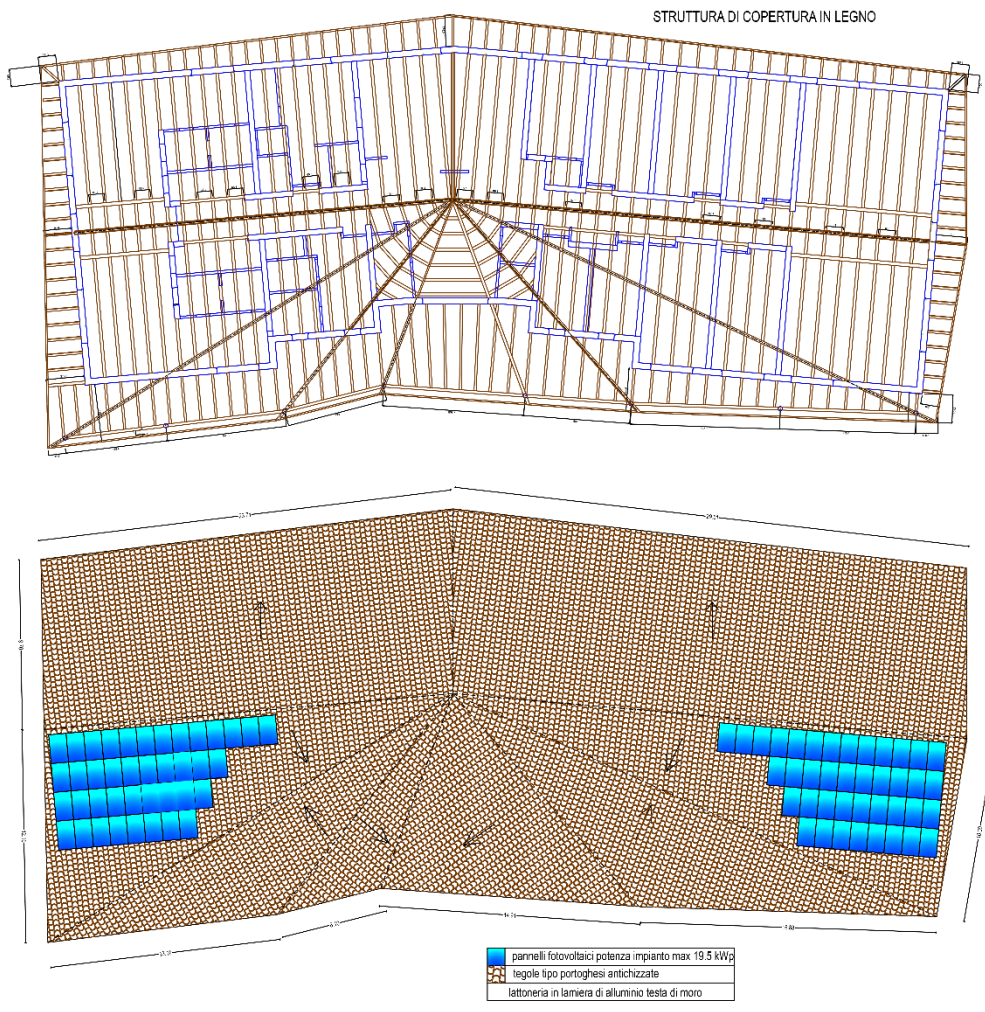


Figura 1

Si considerano inoltre, per le superfici vetrate, tutti i parametri richiesti dalla norma UNI EN 12831 per il calcolo degli apporti gratuiti dovuti alle radiazioni solari entranti dalle finestre.

I parametri richiesti da tale norma, che occorrono per fare il calcolo, sono:

$\tau_0$  = coefficiente di trasmissione per incidenza della radiazione perpendicolare alla superficie vetrata (0,85 per vetro semplice; 0,75 per doppio vetro);

$I_0$  = irradiazione solare media giornaliera,  $J/m^2d$ , UNI 10349;

$A_v$  = area della superficie vetrata al netto del telaio,  $m^2$ ;

$F_1$  = coefficiente di correzione per l'ombreggiatura;

$F_2$  = coefficiente di correzione per la presenza di tendaggi;

$F_3$  = coefficiente di correzione per incidenza non perpendicolare (mediamente pari a 0,9);

$g$  = numero di giorni della stagione di riscaldamento.

Analizziamo il locale "ATTIVITA' ORDINATE tavolino/speciali Mq 36,22" la cui piantina è rappresentata in figura 2 e 3.





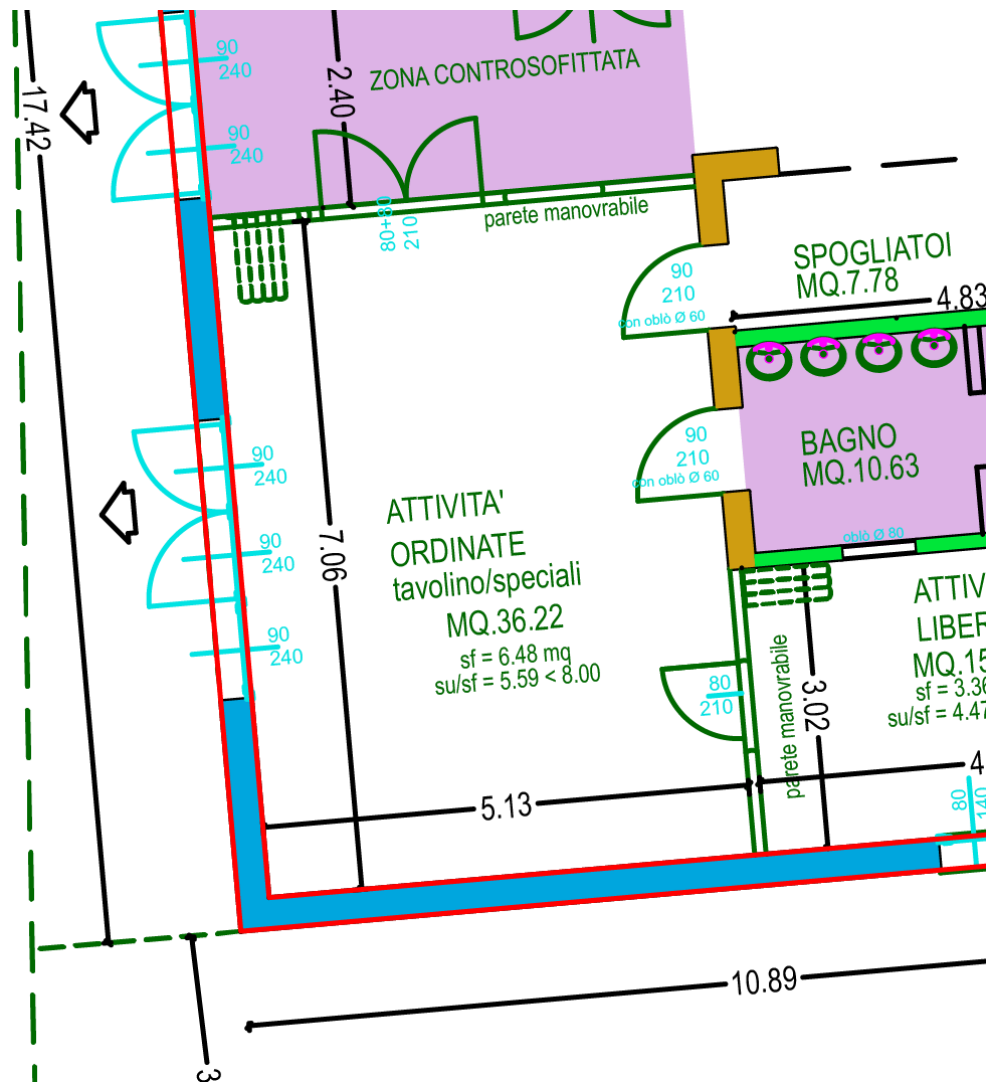


Figura 3

Di seguito vengono riportati tutti i componenti opachi del locale in questione, elencando tutte le loro caratteristiche:

- area – ricavata moltiplicando la lunghezza per l'altezza media dell'edificio ed eliminando l'area degli eventuali infissi;
- trasmittanza termica – presa in base alla tipologia di componente opaco, descritti precedentemente;
- per gli infissi – parametri richiesti dalla norma UNI EN 12831

<b>Parete portante esterna (esposta a SUD)</b>		
Area	<b>25,65</b>	m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica	<b>0,163</b>	W/m <sup>2</sup> K

<b>Parete portante esterna (esposta a SUD/OVEST)</b>		
Area	<b>28,82</b>	m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica	<b>0,163</b>	W/m <sup>2</sup> K

<b>3 Infissi 90x240</b>		
Area	<b>6,48</b>	m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica	<b>1,531</b>	W/m <sup>2</sup> K
Coeff. trasmissione ( $\tau_0$ )	<b>0,75</b>	-
Irradiazione solare ( $I_0$ )	<b>846667</b>	J/m <sup>2</sup> d
Area al netto del telaio	<b>5,154</b>	m <sup>2</sup>
Coeff. ombreggiatura	-	-
Coeff. tendaggi	<b>0,30</b>	-
Coeff. incidenza	<b>0,9</b>	-
Giorni di riscaldamento	<b>183</b>	d

<b>Pavimento controterra</b>		
Area	<b>36,22</b>	m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica	<b>0,129</b>	W/m <sup>2</sup> K

<b>Solaio di copertura</b>		
Area	<b>36,22</b>	m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica	<b>0,2</b>	W/m <sup>2</sup> K

Tutti gli altri componenti opachi, ad esempio le pareti divisorie interne, non vengono considerati poiché non confinano con l'esterno o con locali a diversa temperatura; dunque, si considera nulla l'energia termica uscente attraverso queste superfici.

## **1.6 Dimensionamento dei ponti termici**

Continuiamo ad analizzare i ponti termici del locale "ATTIVITA' ORDINATE tavolino/speciali Mq 36,22".

Di seguito vengono riportati tutti i ponti termici del locale in questione, elencando tutte le loro caratteristiche:

- lunghezza – ricavata dal progetto dell'architetto e nel caso degli infissi questa risulta essere il perimetro;
- trasmittanza termica lineica – presa in base alla tipologia di ponti termici, descritti precedentemente.

<b>Ponte termico parete – solaio controterra</b>		
Lunghezza	<b>9,49</b>	m
Trasmittanza termica lineica	<b>-0,02</b>	W/mK

<b>Ponte termico infisso - parete - telaio</b>		
Lunghezza	<b>10,2</b>	m
Trasmittanza termica lineica	<b>0,033</b>	W/mK

<b>Ponte termico parete - copertura</b>		
Lunghezza	<b>12,19</b>	m
Trasmittanza termica lineica	<b>-0,055</b>	W/mK

## **1.7 Contributo dovuto al ricambio d'aria**

In aggiunta all'energia dispersa per trasmissione (componenti opachi e ponti termici), bisogna considerare che in tutti gli ambienti entra una certa portata d'aria esterna di rinnovo dovuta o ad infiltrazioni attraverso fessure o all'apertura di porte e finestre. Nel nostro caso, abbiamo addirittura un impianto di ventilazione meccanico che garantisce nel locale analizzato un ciclo di ricambio d'aria di 1,5 1/h e una portata di 220 m<sup>3</sup>/h (figura 4).

Si può dire che il ricambio d'aria è la principale causa di perdita di energia termica e ciò lo verificheremo nei calcoli successivi.

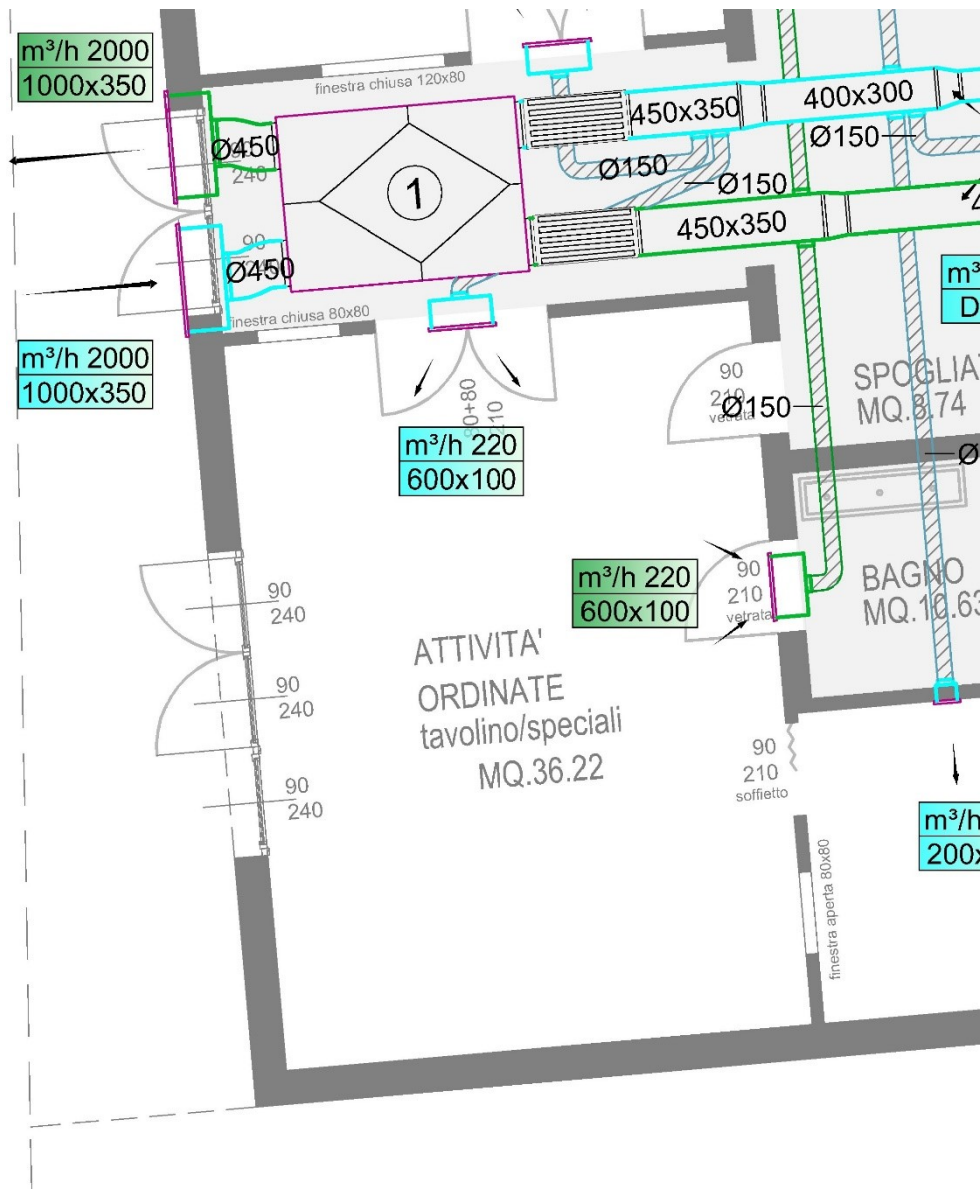


Figura 4

## 1.8 Calcolo del fabbisogno termico

Il fabbisogno termico invernale di una struttura consiste nella potenza che l'impianto di riscaldamento deve fornire, in condizioni di progetto, affinché sia rispettata l'equazione di bilancio tra la potenza termica entrante e quella uscente.

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_u$$

dove:

$\dot{Q}_u$  = potenza termica uscente dai locali;

$\dot{Q}_e$  = potenza termica entrante, ossia la potenza che l'impianto deve garantire ai locali per bilanciare la componente termica uscente.

Dunque, per calcolarci il fabbisogno termico che i pannelli radianti dovranno fornire al locale, basterà calcolarci l'energia termica uscente da quest'ultimo, per poi trovare la potenza termica uscente applicando la seguente formula:

$$\dot{Q}_u = \frac{Q_{tot}}{g \cdot \tau \cdot 3600} \cdot \gamma$$

dove:

$Q_{tot}$  = energia termica uscente totale, J;

$\tau$  = numero di ore di funzionamento giornaliero, h/d;

$g$  = numero di giorni del periodo di riscaldamento, d;

3600 = numero di secondi in un'ora, s/h;

$\gamma$  = fattore di riduzione per intermittenza.

L'energia termica uscente risulta complessivamente costituita dai seguenti termini:

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - Q_s$$

dove:

$Q_1$  = energia termica in uscita per trasmissione attraverso le varie superfici che delimitano dall'esterno le aree riscaldate dell'involucro edilizio;

$Q_2$  = energia termica in uscita per trasmissione attraverso le varie superfici che separano gli ambienti riscaldati dagli ambienti non riscaldati o a diversa temperatura;

$Q_3$  = energia termica in uscita per trasmissione attraverso i ponti termici;

$Q_4$  = energia termica dispersa per ricambio d'aria;

$Q_s$  = energia termica in entrata per apporto solare, dovuto alle radiazioni entranti attraverso le superfici vetrate.

### **1.8.1 Energia termica dispersa verso l'esterno $Q_1$**

L'energia termica in uscita per trasmissione attraverso le varie superfici che delimitano dall'esterno le aree riscaldate dell'involucro edilizio può essere di due tipologie:

- energia termica dispersa attraverso i componenti opachi (pareti, infissi, solai, ecc...);
- energia termica dispersa attraverso le superfici a contatto con il terreno.

In regime stazionario ed in base alla norma UNI EN 12831, l'energia termica dispersa  $Q_{1,i}$ , per ogni superficie  $i$ -esima, è pari a:

$$Q_{1,i} = U_i A_i (t_i - t_e) \cdot 86400 \cdot g$$



dove:

$t_i$  = temperatura interna di progetto della zona riscaldata, °C;

$t_e$  = temperatura esterna di progetto, °C;

$A_i$  = area della generica superficie di scambio i-esima, m<sup>2</sup>;

$U_i$  = trasmittanza termica unitaria (o coefficiente globale di scambio termico) dell'i-esimo componente opaco, W/m<sup>2</sup>K;

$g$  = giorni della stagione di riscaldamento, d;

86400 = numero di secondi in un giorno, s/d.

Con questa equazione e i dati del capitolo 1.5 (Dimensionamento dei componenti opachi) si può calcolare, per il locale “ATTIVITA’ ORDINATE tavolino/speciali Mq 36,22”, l’energia termica dispersa verso l’esterno.

Inoltre, dal DPR 412/93, si ricava che il comune di Muccia si trova nella zona climatica E; dunque, la stagione di riscaldamento va dal 15 ottobre al 15 aprile, ovvero 183 giorni di riscaldamento (d).

Come nei capitoli precedenti, si è preso come valore di temperatura interna di progetto 20°C, mentre per temperatura esterna di progetto -3,9°C.

Di seguito si riportano i valori trovati per ogni componente opaco del locale.

<b>Energia termica dispersa verso l’esterno <math>Q_1</math></b>		
Parete portante esterna (esposta a SUD)	<b>1580</b>	MJ
Parete portante esterna (esposta a SUD/OVEST)	<b>1775</b>	MJ
3 Infissi 90x240	<b>3749</b>	MJ
Pavimento controterra	<b>1766</b>	MJ
Solaio di copertura	<b>2737</b>	MJ

Sommando tutti i valori trovati ci si ricava l'energia termica totale dispersa verso l'esterno del locale in questione.

Energia termica totale dispersa verso l'esterno $Q_1$	<b>11607</b>	MJ
---	--------------	----

Si precisa inoltre, che il pavimento non essendo a contatto con il terreno viene studiato come gli altri componenti, dunque si prende come temperatura esterna  $-3,9^{\circ}\text{C}$ .

### 1.8.2 Energia termica dispersa verso locali confinanti non riscaldati $Q_2$

In base alla norma UNI EN 12831, la potenza termica dispersa verso ciascun ambiente i-esimo non riscaldato o a diversa temperatura è pari a:

$$Q_{2,i} = U_i A_i (t_i - t_u) \cdot 86400 \cdot g$$

dove:

$t_i$  = temperatura interna di progetto della zona riscaldata,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_u$  = temperatura della zona non riscaldata,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_i$  = area della generica superficie di scambio i-esima,  $\text{m}^2$ ;

$U_i$  = trasmittanza termica unitaria dell'i-esima superficie tra la zona riscaldata e quella non riscaldata,  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ;

$g$  = giorni della stagione di riscaldamento, d;

86400 = numero di secondi in un giorno, s/d.

Per il locale "ATTIVITA' ORDINATE tavolino/speciali Mq 36,22", essendo tutti i locali confinanti riscaldati alla temperatura di progetto di  $20^{\circ}\text{C}$ ; l'energia termica dispersa  $Q_2$  è nulla.

Energia termica dispersa verso locali confinanti non riscaldati $Q_2$	<b>0</b>	MJ
---	----------	----

### 1.8.3 Energia termica dispersa attraverso i ponti termici $Q_3$

In base alla norma UNI EN 12831, l'energia termica dispersa per trasmissione attraverso i ponti termici è pari a:

$$Q_3 = \sum_{i=1}^n L_i \psi_i (t_i - t_e) \cdot 86400 \cdot g$$

dove:

$t_i$  = temperatura interna di progetto della zona riscaldata, °C;

$t_e$  = temperatura esterna di progetto, °C;

$n$  = il numero di ponti termici;

$L_i$  = lunghezza del generico ponte termico, m;

$\psi_i$  = trasmittanza termica lineica, W/mK;

$g$  = giorni della stagione di riscaldamento, d;

86400 = numero di secondi in un giorno, s/d.

Con questa equazione e i dati del capitolo 1.6 (Dimensionamento dei ponti termici) si può calcolare, per il locale "ATTIVITA' ORDINATE tavolino/speciali Mq 36,22", l'energia termica dispersa attraverso i ponti termici.

Come nel capitolo 1.8.1, si ha temperatura interna di progetto 20°C, temperatura esterna di progetto -3,9°C e giorni di riscaldamento 183.

Di seguito si riportano i valori trovati per ogni ponte termico e la somma totale.

<b>Energia termica dispersa attraverso i ponti termici <math>Q_3</math></b>		
Ponte termico parete – solaio controterra	<b>-72</b>	MJ
Ponte termico infisso - parete - telaio	<b>127</b>	MJ
Ponte termico parete - copertura	<b>-253</b>	MJ
<b>Energia termica totale dispersa attraverso i ponti termici <math>Q_3</math></b>		
	<b>-198</b>	MJ

#### **1.8.4 Energia termica dispersa per ricambio d'aria $Q_4$**

L'energia termica necessaria per portare l'aria esterna alla temperatura dell'ambiente riscaldato (a causa dell'impianto del ricambio d'aria installato nella struttura) è pari a:

$$\begin{aligned}
 Q_4 &= \dot{V}_a c_{pv} (t_i - t_e) \cdot 86400 \cdot g = V n c_{pv} (t_i - t_e) \cdot 86400 \cdot g \\
 &= V n c_p \rho (t_i - t_e) \cdot 86400 \cdot g
 \end{aligned}$$

dove:

$t_i$  = temperatura interna di progetto della zona riscaldata, °C;

$t_e$  = temperatura esterna di progetto, °C;

$\dot{V}_a$  = portata d'aria esterna in ingresso, m<sup>3</sup>/s (m<sup>3</sup>/h);

$V$  = volume netto del locale riscaldato, m<sup>3</sup>;

$n$  = numero di volumi d'aria esterna di ricambio o ciclo di ricambio d'aria, s<sup>-1</sup> (h<sup>-1</sup>);

$c_p$  = capacità termica massica (calore specifico) a pressione costante dell'aria, posta pari a 1.000 J/kgK;

$\rho$  = densità dell'aria, posta pari a 1,2 kg/m<sup>3</sup>;

$c_{pv} = c_p \rho$  capacità termica unitaria volumica (calore specifico riferito all'unità di volume) a pressione costante dell'aria, posta pari a  $1.200 \text{ J/m}^3\text{K}$ ;

$g$  = giorni della stagione di riscaldamento, d;

$86400$  = numero di secondi in un giorno, s/d.

Con questa equazione e considerando per il locale "ATTIVITA' ORDINATE tavolino/speciali Mq 36,22" i seguenti dati di progetto, si può calcolare l'energia termica dispersa a causa del ricambio d'aria.

Volume locale	<b>181,10</b>	$\text{m}^3$
Portata d'aria in ingresso	<b>220</b>	$\text{m}^3/\text{h}$
Cicli ricambio d'aria	<b>1,5</b>	1/h
Temperatura interna	<b>20</b>	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura esterna	<b>-3,9</b>	$^{\circ}\text{C}$
Giorni di riscaldamento	<b>183</b>	d

Di seguito si riporta il valore trovato.

Energia dispersa per ricambio d'aria $Q_4$	<b>27712</b>	MJ
--	--------------	----

Se si mette a confronto tutti i termini trovati, si evidenzia subito l'importanza di quest'ultimo, infatti l'energia termica dispersa per ricambio d'aria è il valore più grande fra quelli trovati.

### 1.8.5 Energia termica in entrata per apporto solare $Q_s$

L'energia termica in entrata per apporto solare, dovuto alle radiazioni entranti attraverso le superfici vetrate, è il maggiore tra gli apporti gratuiti. Infatti, spesso è l'unico apporto che si considera nel calcolo del fabbisogno termico.

In base alla norma UNI EN 12831, questa energia può essere calcolata con la seguente formula:

$$Q_s = \tau_0 \cdot I_0 \cdot A_v \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot g$$

dove:

$\tau_0$  = coefficiente di trasmissione per incidenza della radiazione perpendicolare alla superficie vetrata (0,85 per vetro semplice; 0,75 per doppio vetro);

$I_0$  = irradiazione solare media giornaliera, J/m<sup>2</sup>d, UNI 10349;

$A_v$  = area della superficie vetrata al netto del telaio, m<sup>2</sup>;

$F_1$  = coefficiente di correzione per l'ombreggiatura;

$F_2$  = coefficiente di correzione per la presenza di tendaggi;

$F_3$  = coefficiente di correzione per incidenza non perpendicolare (mediamente pari a 0,9);

$g$  = numero di giorni della stagione di riscaldamento.

Con questa equazione e i dati del capitolo 1.5 (Dimensionamento dei componenti opachi) si può calcolare, per il locale "ATTIVITA' ORDINATE tavolino/speciali Mq 36,22", l'apporto solare.

Come nei capitoli precedenti si considerano i giorni di riscaldamento pari a 183.

Di seguito si riporta il valore trovato.

Energia termica in entrata per apporto solare $Q_s$	<b>162</b>	MJ
---	------------	----

### 1.8.6 Potenza termica totale dispersa $\dot{Q}_u$

Dopo aver sommato tutte le energie termiche richieste dalla norma UNI EN 12831 e aver trovato  $Q_{tot}$ , come da formula del capitolo 1.8, ci si può ricavare la potenza termica totale dispersa  $\dot{Q}_u$ , ovvero il fabbisogno termico che il locale analizzato richiede.

Come già riportato, tale potenza può essere ricavata con la seguente formula:

$$\dot{Q}_u = \frac{Q_{tot}}{g \cdot \tau \cdot 3600} \cdot \gamma$$

dove:

$Q_{tot}$  = energia termica uscente totale, J;

$\tau$  = numero di ore di funzionamento giornaliero, h/d;

$g$  = numero di giorni del periodo di riscaldamento, d;

3600 = numero di secondi in un'ora, s/h;

$\gamma$  = fattore di riduzione per intermittenza.

Con questa equazione e considerando per il locale "ATTIVITA' ORDINATE tavolino/speciali Mq 36,22" i seguenti dati, si può calcolare la potenza termica totale dispersa.

Energia termica totale dispersa verso l'esterno $Q_1$	<b>11607</b>	MJ
Energia termica dispersa verso locali confinanti non riscaldati $Q_2$	<b>0</b>	MJ
Energia termica totale dispersa attraverso i ponti termici $Q_3$	<b>-198</b>	MJ
Energia dispersa per ricambio d'aria $Q_4$	<b>27712</b>	MJ
Energia termica in entrata per apporto solare $Q_5$	<b>162</b>	MJ
Energia termica totale dispersa $Q_{tot}$	<b>39283</b>	MJ

Ore di funzionamento giornaliere ( $\tau$ )	<b>24</b>	h/d
Giorni di riscaldamento	<b>183</b>	d
Fattore di riduzione per intermittenza ( $\gamma$ )	<b>1</b>	-

Potenza termica totale dispersa $\dot{Q}_u$	<b>2484</b>	W
---	-------------	---

Possiamo approssimare questo valore, senza commettere un grave errore, a 2500 W.



## Capitolo 2

### Dimensionamento dei pannelli radianti

#### 2.1 Generalità sui pannelli radianti

La storia degli impianti a pannelli radianti permette di comprendere meglio il loro sviluppo, ma soprattutto i motivi per cui si guarda a questi con una certa diffidenza.

I primi impianti a pavimento furono ideati da Cinesi, Egiziani e Romani e consistevano in un focolare interrato, i quali fumi venivano fatti circolare al di sotto del pavimento del locale da riscaldare; si trattava in pratica di un riscaldamento monolocale. I Romani svilupparono poi il sistema realizzando alcuni impianti di tipo centralizzato riscaldando quindi, più locali con un solo focolare.

Il primo impianto, realizzato nella sua configurazione attuale, venne brevettato da un inglese, il professor Baker. Il suo brevetto, dal titolo “sistema per riscaldare i locali con acqua calda convogliata in tubi sotto pavimento”, venne applicato per la prima volta nel palazzo Royal River, nel 1909, ma la diffusione significativa di questo sistema avvenne solo nel secondo dopo-guerra.

I motivi della loro rapida diffusione sono principalmente due: la carenza dei tradizionali corpi scaldanti e la facilità d’inserimento dei pannelli nelle solette prefabbricate. In Europa, grazie a tale tecnica, vennero riscaldati tra il Quarantacinque e il Cinquanta più di 100.000 alloggi.

Ben presto però, si deve constatare che, gli impianti realizzati causarono numerosi disturbi fisiologici, quali ad esempio cattiva circolazione, innalzamento della pressione arteriosa, mal di testa, eccessiva sudorazione. Commissioni apposite concordarono nel sostenere che le cause di questi malesseri erano da attribuire a due valori troppo elevati: la temperatura del pavimento e l’inerzia termica delle solette. Oltre a ciò, le commissioni

stabilirono nuovi parametri, per evitare sensazioni di malessere; non emisero comunque alcun giudizio negativo verso questo sistema.

Nonostante ciò, ci fu un forte disincentivo alla realizzazione degli impianti a pannelli e un loro significativo ritorno lo si ha solamente dopo gli anni Settanta, quando a causa della crisi energetica tutti i paesi europei emanarono leggi che imponevano un buon isolamento termico degli edifici, ciò ha permesso di riscaldare i locali con minor calore e quindi (nel caso dei pannelli) con temperature a pavimento più basse. Inoltre, temperature più basse a pavimento consentono di ridurre l'inerzia termica dell'impianto, la quale si può ridurre anche realizzando pavimenti "galleggianti" con isolamento termico sia sotto i pannelli, sia verso le pareti.

Ad oggi, grazie ad aggiornate norme tecniche, si può realizzare impianti a pannelli sicuramente affidabili e con elevate prestazioni termiche.

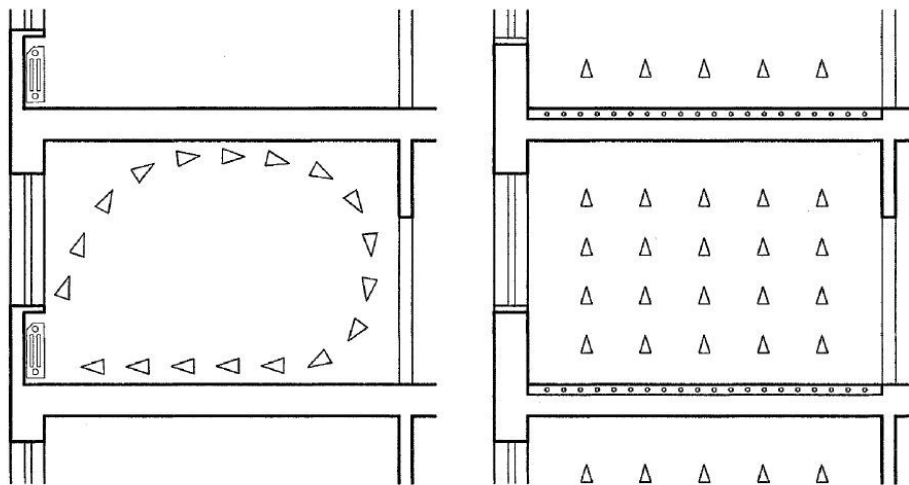
Detto ciò, si riportano e si analizzano i principali vantaggi che gli impianti a pannelli possono offrire:

- benessere termico
- qualità dell'aria
- condizioni igieniche
- impatto ambientale
- calore utilizzabile a bassa temperatura
- risparmio energetico

## BENESSERE TERMICO

Per avere in un locale condizioni di benessere termico si devono mantenere zone leggermente più calde a pavimento e più fredde a soffitto. Gli impianti che meglio si prestano a offrire tali condizioni sono quelli a pavimento radiante per i seguenti motivi:

- la specifica posizione (cioè a pavimento) dei pannelli;
- il fatto che essi cedono calore soprattutto per irraggiamento, evitando così il formarsi di correnti convettive d'aria calda a soffitto e fredda a pavimento.



Moti convettivi  
in un impianto a radiatori

Irraggiamento  
in un impianto a pannelli

Figura 5

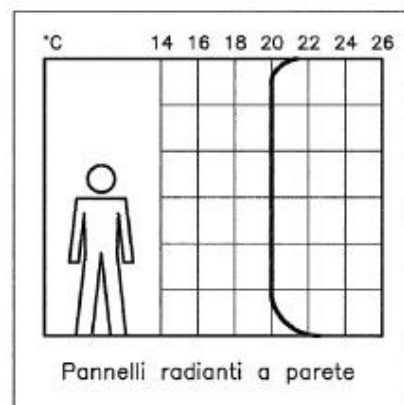
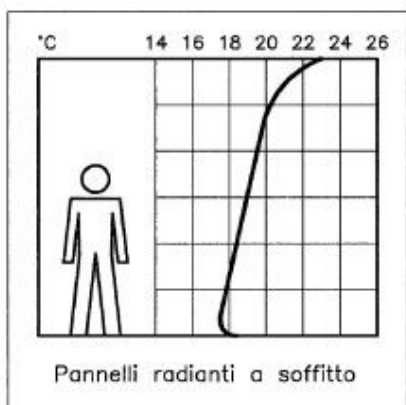
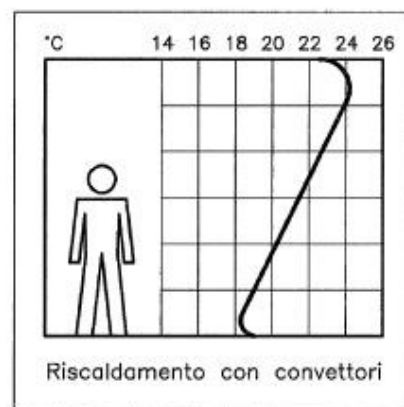
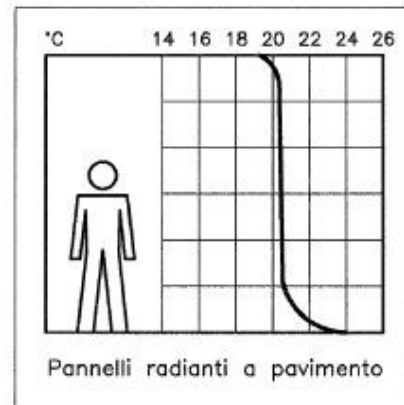
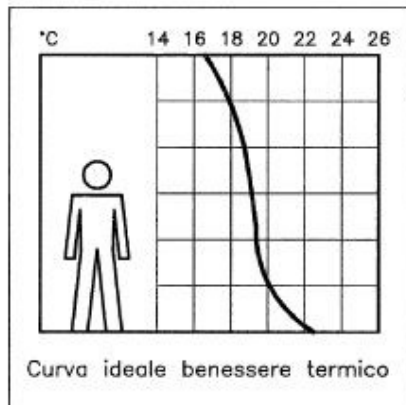


Figura 6

## QUALITÀ DELL'ARIA

Il riscaldamento a pannelli è in grado di evitare due inconvenienti tipici degli impianti a corpi scaldanti:

- la combustione del pulviscolo atmosferico, che può causare senso di arsuratura e irritazione alla gola;
- l'elevata circolazione di polvere, che (specie nei locali poco puliti) può essere causa di allergie e difficoltà respiratorie.

## CONDIZIONI IGIENICHE

Gli impianti a pannelli esercitano un'azione positiva nel mantenimento di buone condizioni igieniche ambientali, in quanto evitano:

- il formarsi di zone umide a pavimento, sottraendo pertanto il loro ambiente ideale ad acari e batteri;
- l'insorgere di muffe (e della relativa fauna batterica) sulle pareti che confinano coi pavimenti caldi.

## IMPATTO AMBIENTALE

Gli impianti a pannelli sono gli impianti a minor impatto ambientale perché:

- non pongono vincoli di natura estetica. La non visibilità dei pannelli risulta molto importante soprattutto quando si devono climatizzare edifici di rilievo storico o architettonico, dove la presenza di corpi scaldanti può compromettere l'equilibrio delle forme originali;
- non limitano la libertà d'arredo, dando più scelta nell'utilizzo dello spazio;
- non contribuiscono al degrado di intonaci, pavimenti in legno e serramenti, in quanto: non sporcano le pareti di nerofumo, non consentono il formarsi di umidità a pavimento e limitano

sensibilmente i casi di condensa interna in quanto aumentano la temperatura delle pareti vicine alle solette con pannelli.

## CALORE UTILIZZABILE A BASSA TEMPERATURA

Grazie alla loro elevata superficie disperdente, gli impianti a pannelli possono riscaldare con basse temperature del fluido termovettore.

Questa caratteristica rende conveniente il loro uso con sorgenti di calore la cui resa (termodinamica o economica) aumenta al diminuire della temperatura richiesta, come nel caso di:

- pompe di calore;
- caldaie a condensazione;
- pannelli solari;
- sistemi di recupero del calore;
- sistemi di teleriscaldamento.

## RISPARMIO ENERGETICO

Gli impianti a pannelli, rispetto ai tradizionali sistemi di riscaldamento, consentono apprezzabili risparmi energetici per due motivi:

- la minor temperatura operante che consente risparmi medi dal 5 al 10%;
- il minor gradiente termico tra pavimento e soffitto che comporta risparmi tanto più elevati quanto maggiore è l'altezza dei locali.

Mediamente gli impianti a pannelli (sempre in relazione agli impianti di tipo tradizionale) consentono un risparmio energetico variabile dal 10 al 15%.

Ovviamente, agli impianti a pannelli sono legati anche dei limiti e degli svantaggi, che riguardano:

- la temperatura superficiale del pavimento;
- l'inerzia termica dell'impianto;
- la difficoltà d'ordine progettuale.

#### LIMITI CONNESSI ALLA TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL PAVIMENTO

Per evitare condizioni di malessere fisiologico la temperatura superficiale del pavimento deve essere inferiore ai valori riportati nel capitolo 2.4, TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL PAVIMENTO.

Questa temperatura ci permette di determinare la potenza termica massima ( $Q_{max}$ ) cedibile da un pannello.

Se  $Q_{max}$  è inferiore alla potenza richiesta ( $Q$ ), si possono considerare due casi:

- $Q_{max}$  è inferiore a  $Q$  solo in pochi locali; allora si può ricorrere a corpi scaldanti di integrazione (ad esempio aggiungere dei radiatori);
- $Q_{max}$  è inferiore a  $Q$  in tutti o nella maggior parte dei locali; allora conviene adottare impianti di tipo tradizionale.

#### INERZIA TERMICA E TIPO DI UTILIZZO DELL'IMPIANTO

Gli impianti a pannelli hanno un'elevata inerzia termica in quanto, per cedere calore, utilizzano le strutture in cui sono annegati i pannelli stessi.

In ambienti riscaldanti con una certa continuità, l'inerzia termica non presenta alcun problema, infatti l'impianto riesce a adeguarsi bene alle condizioni climatiche esterne e i tempi di attivazione/disattivazione dell'impianto vanno normalmente anticipati di due ore.

Invece per ambienti riscaldati solo per brevi periodi (ad esempio case di fine settimana) l'inerzia termica comporta un problema. Ci creeranno infatti dei sensibili sfasamenti tra i tempi di avviamento e quelli di effettivo utilizzo. Pertanto, in questi casi conviene ricorrere ad altri sistemi di riscaldamento.

## SVANTAGGI LEGATI AD ASPETTI PROGETTUALI

A differenza di quelli tradizionali a corpi scaldanti, gli impianti a pannelli richiedono:

- maggior impegno per la determinazione dei parametri di progetto. Infatti, oltre ai parametri necessari per determinare le dispersioni termiche dei locali, la progettazione degli impianti a pannelli richiede anche la conoscenza dettagliata di tutti gli elementi costruttivi che riguardano i pavimenti e le solette.
- calcoli più complessi e laboriosi, tuttavia possono essere sensibilmente ridotti con l'uso di un software.
- minor adattamento a varianti in corso d'opera o ad impianto ultimato, in quanto non è possibile togliere o aggiungere porzioni di pannello come invece è possibile con i radiatori.

Inoltre, bisogna considerare che mediamente gli impianti a pannelli constano dal 10 al 30% in più rispetto ai tradizionali impianti a radiatore, ma permettono un risparmio dal 10 al 15% sui costi di gestione e quindi il costo sostenuto per la loro realizzazione può essere ammortizzato negli anni.



## 2.2 Parametri richiesti

Per poter iniziare a dimensionare un pannello devono essere noti i seguenti parametri:

- interassi;
- diametro esterno, spessore e conducibilità termica del tubo;
- temperatura massima di progetto;
- potenza termica richiesta;
- temperatura ambiente;
- temperatura del locale o del terreno sottostante;
- superficie coperta dal pannello;
- spessore e conducibilità del massetto;
- resistenza termica del pavimento;
- resistenza termica sotto pannello.

Tutti questi parametri possono essere ricavati in base alla scelta dei componenti utilizzati per la realizzazione dell'impianto, al progetto della struttura e alle caratteristiche che i locali devono soddisfare da progetto.

Di seguito vengono analizzati tutti i parametri richiesti e si riporta i parametri per il dimensionamento dei pannelli del locale finora analizzato, ovvero "ATTIVITA' ORDINATE tavolino/speciali Mq 36,22".

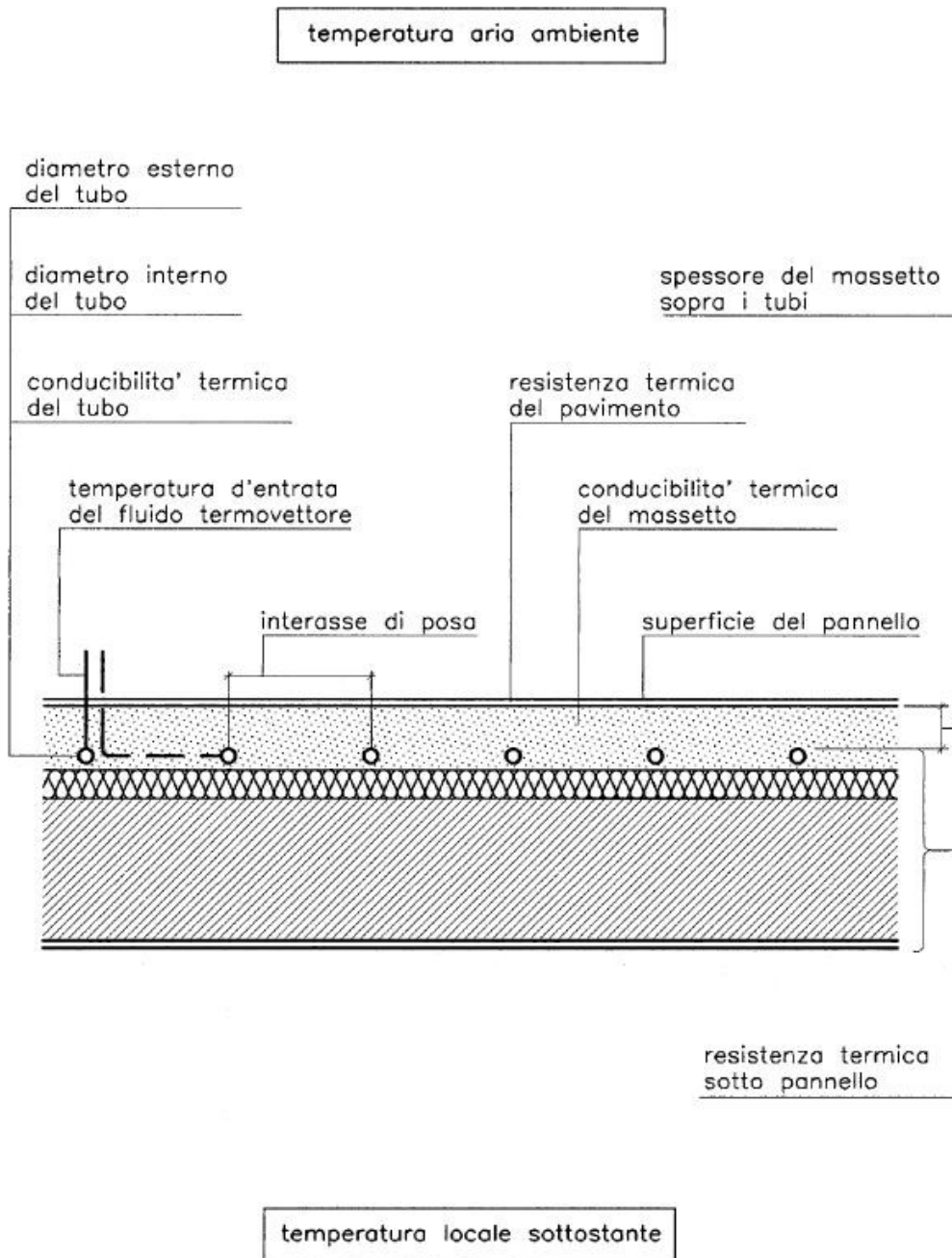


Figura 7

## INTERASSI

Con interasse si definisce la distanza fra due tubi paralleli. Questa distanza può variare fino a 30 cm per applicazioni di tipo civile, mentre può arrivare a 40 cm per applicazioni di tipo industriale.

Nonostante ciò, la scelta dell'interasse dipende soprattutto dalla griglia adoperata per la posa dei tubi e il loro fissaggio.

In commercio, le griglie più diffuse e quindi più utilizzate hanno i seguenti valori (espressi in cm):

7,5 15,0 22,5 30,0 37,5

5,0 10,0 15,0 20,0 30,0

8,0 16,0 24,0 32,0 40,0

Per il nostro locale analizzato abbiamo scelto una griglia con interasse di 8,0 cm.

## DIAMETRO ESTERNO, SPESSORE E CONDUCIBILITÀ TERMICA DEL TUBO

La scelta del tubo è fondamentale per un pannello radiante, principalmente si opta per tubi in plastica perché a differenza dei tubi metallici sono: facili da porsi in opera, non si corrodono e non consentono il formarsi di incrostazioni.

Tra i materiali plastici più utilizzati si trova: il polietilene reticolato (PEX), il polibutilene (PB) e il polipropilene (PP).

Oltre a ciò, è importante che i tubi siano dotati di barriere contro la diffusione dell'ossigeno, poiché questa all'interno dell'impianto può causare la corrosione della caldaia e dei tubi metallici.

Per il locale analizzato abbiamo scelto un tubo in polibutilene con barriera anti-ossigeno e diametro esterno 12 mm (si riporta di seguito la scheda tecnica del tubo).

### **Tubo RDZ Clima PB Ø12**

**Descrizione:** Tubo in polibutilene con barriera anti-ossigeno dotato di ottima flessibilità per agevolare la posa dei circuiti anche alle basse temperature. Prodotto in conformità alle normative DIN 16968 e DIN 4726.

<b>Campo di applicazione</b>	CLASSE 4	Impianti termici con acqua calda e fredda ( $T_{max}$ 60°C)
	CLASSE 5	Impianti termici con acqua calda e fredda ( $T_{max}$ 80°C)

Diam. esterno (mm)	Spessore (mm)	Peso (g/m)	CLASSE 4 (bar)	CLASSE 5 (bar)	Contenuto acqua (l/m)
12	1,3	50	10	10	0,069

Caratteristiche tubazione	Valore	U.M.	Norma
Standard di base			DIN 16968
Permeabilità all'ossigeno	$\leq 0,32$	mg O <sub>2</sub> / (m <sup>2</sup> · d)	DIN 4726
Grado di reticolazione	$\geq 70$	%	
Densità	0,920	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Coefficiente di espansione termica a 20°C	$1,3 \cdot 10^{-4}$	m/(m·K)	
Conducibilità termica	0,22	W/(m·K)	
Temperatura di rammollimento	$> 130$	°C	

<b>Allungamento alla rottura a 20°C</b>	> 300	%	ISO 8986-1
<b>Carico di rottura a 20°C</b>	19	Mpa	ISO 8996-2
<b>Massima temperatura di esercizio</b>	90	°C	
<b>Temperatura di installazione</b>	> -5	°C	
<b>Fattore di ruvidità</b>	0,007		

### TEMPERATURA MASSIMA DI PROGETTO

È la temperatura massima del fluido scaldante che circola nei pannelli. Per questa grandezza conviene adottare valori variabili da:

- 45 a 55°C con caldaie tradizionali;
- 40 a 45°C con teleriscaldamento, caldaie a condensazione, pompe di calore;
- 32 a 38°C con pannelli solari.

Ma è possibile un riscaldamento con temperature più basse solo con pavimenti a limitata resistenza termica.

Inoltre, è consigliabile che la temperatura massima di progetto non superi i 55°C per evitare:

- crepe nei pavimenti in mattonelle;
- fessurazioni nei parquets;
- avvallamenti nelle pavimentazioni in gomma;
- temperatura del pavimento a “onde”, cioè l’alternarsi di zone calde e fredde.

Per il locale analizzato abbiamo scelto una temperatura massima di progetto di 35°C.

## POTENZA TERMICA RICHIESTA

È la potenza richiesta al pannello per poter far fronte al fabbisogno termico del locale da riscaldare.

Nel nostro caso il fabbisogno termico calcolato nel capitolo 1 corrisponde alla potenza termica richiesta al pannello, ovvero di 2500 W per il locale analizzato, ma in altri casi bisogna considerare due aspetti tipici dei locali con impianti a pannelli:

- la mancanza di dispersione termiche attraverso i pavimenti;
- il contributo termico di eventuali pannelli posti al piano superiore.

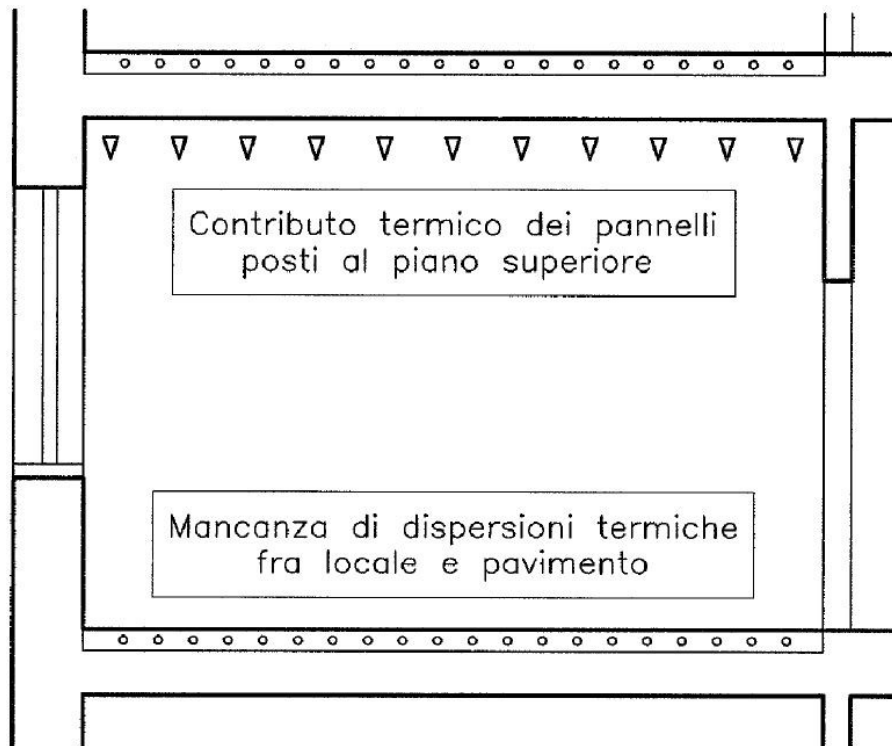


Figura 8

## TEMPERATURA AMBIENTE

È la temperatura dell'aria che si deve assicurare all'interno del locale. Il suo valore è generalmente imposto da norme o da clausole contrattuali.

Per il locale analizzato la temperatura ambiente corrisponde a 20°C.

## TEMPERATURA DEL LOCALE O DEL TERRENO SOTTOSTANTE

È la temperatura del locale o del terreno posti sotto la struttura di contenimento dei pannelli. Per la sua determinazione si considerano due casi:

- locale posto sotto la soletta di contenimento dei pannelli: la sua temperatura si determina con gli stessi criteri adottati per il calcolo delle dispersioni termiche.
- terreno posto sotto il getto di contenimento dei pannelli: la sua temperatura può essere determinata mediante la seguente tabella.

<b>Temperatura esterna</b>	<b>Temperatura media del terreno sottopavimento</b>
-20°C	+3°C
-15°C	+5°C
-10°C	+8°C
-5°C	+10°C
0°C	+11°C
+5°C	+12°C

Per il locale analizzato questo parametro è nullo, perché sotto i pannelli non c'è né un locale riscaldato, né un terreno; infatti, si ha solamente uno spazio aerato alla temperatura esterna di -3,9°C.

## SUPERFICIE COPERTA DAL PANNELLO

È l'area del pannello radiante e di solito un suo multiplo corrisponde all'incirca all'area del locale; infatti, nel nostro problema si considera che l'area del locale di 36,22 m<sup>2</sup> sia coperta da sette pannelli di 5,17 m<sup>2</sup>.

## SPESSORE E CONDUCIBILITÀ DEL MASSETTO

Lo spessore e la conducibilità del massetto dipendono dal progetto costruttivo e dal materiale utilizzato.

Innanzitutto, il massetto deve essere realizzato con un impasto fluido per evitare la formazione di piccole sacche d'aria che possono essere d'ostacolo alla regolare trasmissione del calore; ciò è possibile anche con l'utilizzo di appositi additivi chimici.

Inoltre, lo spessore minimo del massetto sopra i tubi deve essere uguale a:

- 20 mm – per massetti in rasatura, cioè massetti sopra cui si prevede successivamente un sottofondo per la messa in opera del pavimento.
- 40 mm – per massetti di finitura, cioè per massetti sopra cui si prevede di realizzare subito la posa del pavimento o di “incollarlo” successivamente.

Per il locale analizzato si può ricavare tali dati nel capitolo 1.3, nella descrizione del pavimento controterra. Si ha come spessore del massetto 50,0 mm e conducibilità del massetto 1,15 W/mK.

## RESISTENZA TERMICA DEL PAVIMENTO

La resistenza termica del pavimento dipende dal materiale utilizzato e dal suo spessore; infatti, questa corrisponde al rapporto tra lo spessore del pavimento e la conducibilità termica.

$$R_p = \frac{S_p}{\lambda_p}$$



dove:

$R_p$  = resistenza termica del pavimento,  $m^2K/W$ ;

$S_p$  = spessore del pavimento, m;

$\lambda_p$  = conducibilità termica del pavimento,  $W/mK$ .

Per il locale analizzato, in cui abbiamo un pavimento di piastrelle in ceramica, si può ricavare tali dati nel capitolo 1.3, nella descrizione del pavimento controterra. Si ha come spessore del pavimento 15,0 mm e conducibilità termica del pavimento 1,3  $W/mK$ ; dunque, la resistenza termica del pavimento corrisponde a 0,012  $m^2K/W$ .

#### RESISTENZA TERMICA SOTTO PANNELLO

La resistenza termica sotto pannello è la resistenza della struttura compresa fra il piano tangente superiore dei tubi e l'ambiente sottostante.

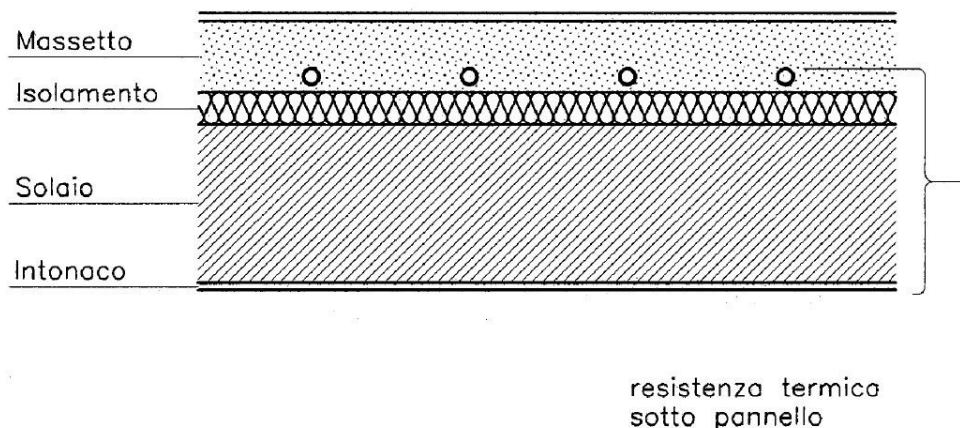


Figura 9

Per il locale analizzato si può ricavare tale dato nel capitolo 1.3, nella descrizione del pavimento controterra; andando a sommare la resistenza termica di ogni strato sotto il pannello dei tubi.

$$R_s = R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9$$

dove:

$R_s$  = resistenza termica sotto pannello,  $m^2K/W$ ;

$R_i$  = resistenza termica di ogni strato sotto i tubi,  $m^2K/W$ .

Andando a sostituire i valori si ha:

$$R_s = 1,118 + 1,765 + 0,447 + 0,059 + 0,020 + 0,303 = 3,712 \text{ } m^2K/W$$

## 2.3 Calcolo dei pannelli

Di seguito per il dimensionamento dei pannelli radianti viene applicato un metodo di calcolo teorico con prevalenza prestabilita agli estremi del pannello.

Si suddivide l'analisi e lo sviluppo di tale metodo nelle seguenti fasi:

- verifica delle condizioni di benessere fisiologico;
- determinazione della temperatura di ritorno;
- determinazione della portata;
- determinazione della lunghezza del pannello;
- determinazione delle perdite di carico del pannello.

### VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI BENESSERE FISILOGICO

Per poter assicurare condizioni di benessere fisiologico, la potenza termica ceduta dal pannello non deve superare la potenza massima definita dalla norma UNI EN 1264. Deve quindi rispettare la seguente formula:

$$Q < Q_{max} = S \cdot q_{max}$$

dove:

$Q$  = potenza termica richiesta al pannello o fabbisogno termico richiesto, W;

$Q_{max}$  = potenza massima cedibile dal pannello, W;

$S$  = superficie coperta dal pannello, m<sup>2</sup>;

$q_{max}$  = potenza specifica cedibile dal pannello, W/m<sup>2</sup>.

Quest'ultimo parametro viene definito dalla norma UNI EN 1264 e corrisponde a:

$q_{\max} = 100 \text{ W/m}^2$  in ambienti dove ci si sofferma in permanenza;

$q_{\max} = 150 \text{ W/m}^2$  in locali bagno, docce e piscine;

$q_{\max} = 175 \text{ W/m}^2$  in zone perimetrali o in locali dove si accede raramente.

Per il locale analizzato abbiamo che  $Q = 2500 \text{ W}$  (calcolato nel capitolo 1),  $S = 36,22 \text{ m}^2$  e che essendo un ambiente dove ci si sofferma in permanenza,  $q_{\max} = 100 \text{ W/m}^2$ ; quindi, la formula è verificata.

$$2500 \text{ W} < 3622 \text{ W} = 36,22 \text{ m}^2 \cdot 100 \text{ W/m}^2$$

Se  $Q$  sarebbe stato maggiore di  $Q_{\max}$ , allora si doveva cedere col pannello una potenza termica inferiore o uguale a  $Q_{\max}$  e ricorrere, per la potenza mancante, ad un corpo scaldante integrativo.

## DETERMINAZIONE DELLA TEMPERATURA DI RITORNO

La temperatura di ritorno ( $t_u$ ) del pannello si calcola, per interazioni successive, con le seguenti due formule, (1.) e (2.).

### 1. Flusso di calore verso l'alto emesso da un pannello

$$Q = S \cdot \Delta t \cdot B \cdot F_p \cdot F_l \cdot F_m \cdot F_D$$

dove:

$Q$  = flusso di calore verso l'alto emesso dal pannello, W;

$S$  = superficie coperta dal pannello,  $\text{m}^2$ ;

$\Delta t$  = media logaritmica fra la temperatura del fluido e la temperatura ambiente,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$B$  = fattore relativo alle caratteristiche del tubo,  $\text{W/m}^2\text{K}$ ;

$F_p$  = fattore relativo alla resistenza termica del pavimento,  
adimensionale;

$F_l$  = fattore relativo all'interasse dei tubi, adimensionale;

$F_m$  = fattore relativo allo spessore del massetto sopra i tubi,  
adimensionale;

$F_D$  = fattore relativo al diametro esterno del tubo, adimensionale.

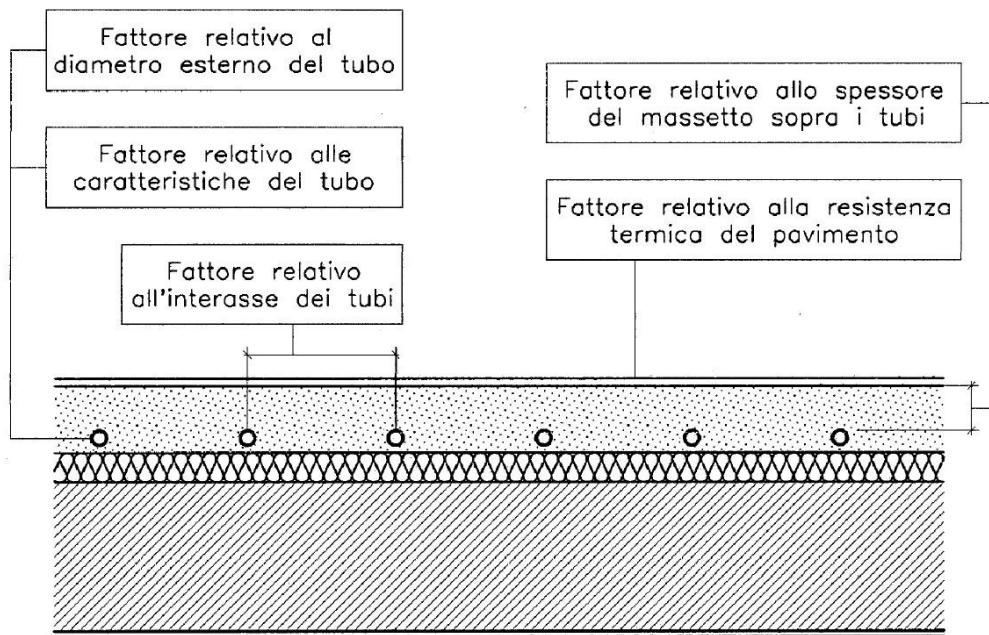


Figura 10

2. Media logaritmica fra la temperatura del fluido e la temperatura ambiente

$$\Delta t = \frac{(t_e - t_u)}{\ln \frac{(t_e - t_a)}{(t_u - t_a)}}$$

dove:

$\Delta t$  = media logaritmica fra la temperatura del fluido e la temperatura ambiente, °C;

$t_e$  = temperatura di entrata del fluido scaldante, °C;

$t_u$  = temperatura di uscita del fluido scaldante, °C;

$t_a$  = temperatura dell'aria ambiente, °C;

ln = logaritmo naturale.

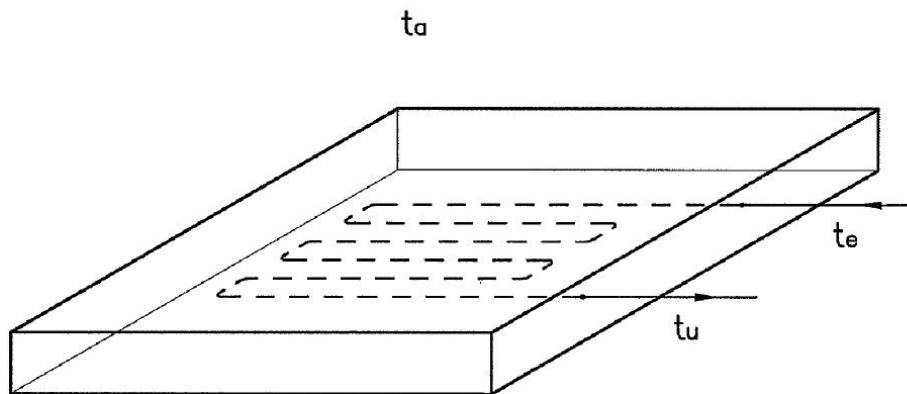


Figura 11

Il primo passaggio consiste nel trovare i seguenti quattro valori:

- $F_p$  = fattore relativo alla resistenza termica del pavimento, adimensionale;
- $F_I$  = fattore relativo all'interasse dei tubi, adimensionale;
- $F_m$  = fattore relativo allo spessore del massetto sopra i tubi, adimensionale;
- $F_D$  = fattore relativo al diametro esterno del tubo, adimensionale.

Di seguito viene riportato per ogni fattore, il procedimento utilizzato.

#### FATTORE RELATIVO ALLA RESISTENZA TERMICA DEL PAVIMENTO

Il suo valore può essere determinato con la seguente tabella.

Conducibilità massetto (W/mK)	Resistenza termica del pavimento ( $m^2K/W$ )			
	0,00	0,05	0,10	0,15
2,0	1,196	0,833	0,640	0,519
1,5	1,122	0,797	0,618	0,505
1,2	1,058	0,764	0,598	0,491
1,0	1,000	0,734	0,579	0,478
0,8	0,924	0,692	0,553	0,460
0,6	0,821	0,632	0,514	0,433

Per il locale analizzato, avendo una resistenza termica del pavimento pari a  $0,012 m^2K/W$  e una conducibilità del massetto pari a  $1,15 W/mK$ , usando la tabella possiamo ricavarci che  $F_p = 1,058$  (non si commette un grave errore nell'approssimare i dati di partenza).

## FATTORE RELATIVO ALL'INTERASSE DEI TUBI

Il suo valore può essere calcolato con la seguente formula:

$$F_I = A_I^x$$

dove il fattore  $A_I$  è determinabile con la tabella seguente e l'esponente  $x$  (per interassi dei tubi variabile fra 0,050 e 0,375 m) è calcolabile con la relazione:

$$x = 1 - \frac{I}{0,075}$$

essendo:  $I$  = interassi tubi, m

Valori del fattore $A_I$			
$R_p = 0,00$	$R_p = 0,05$	$R_p = 0,10$	$R_p = 0,15$
$A_I = 1,230$	$A_I = 1,188$	$A_I = 1,156$	$A_I = 1,1134$

Per il locale analizzato, essendo la resistenza termica del pavimento ( $R_p$ ) pari a 0,012 m<sup>2</sup>K/W, il valore  $A_I = 1,230$  e avendo un interasse di 8,0 cm,  $x = -0,067$ . Dunque, utilizzando la formula si ha:

$$F_I = A_I^x = 1,230^{-0,067} = 0,9863$$



## FATTORE RELATIVO ALLO SPESSORE DEL MASSETTO SOPRA I TUBI

Il suo valore può essere calcolato con la seguente formula:

$$F_m = A_m^y$$

dove il fattore  $A_m$  è determinabile con la tabella seguente e l'esponente  $y$  (per spessore del massetto sopra i tubi maggiore di 0,015 m) è calcolabile con la relazione:

$$y = 100 \cdot (0,045 - s_m)$$

essendo:  $s_m$  = spessore del massetto sopra i tubi, m

Valori del fattore $A_m$				
Interasse (m)	Resistenza termica del pavimento ( $m^2K/W$ )			
	0,00	0,05	0,10	0,15
<b>0,050</b>	1,0690	1,0560	1,0430	1,0370
<b>0,075</b>	1,0660	1,0530	1,0410	1,0350
<b>0,100</b>	1,0630	1,0500	1,0390	1,0335
<b>0,150</b>	1,0570	1,0460	1,0350	1,0305
<b>0,200</b>	1,0510	1,0410	1,0315	1,0275
<b>0,225</b>	1,0480	1,0380	1,0295	1,0260
<b>0,300</b>	1,0395	1,0310	1,0240	1,0210
<b>0,375</b>	1,0300	1,0240	1,0180	1,0160

Per il locale analizzato, essendo la resistenza termica del pavimento ( $R_p$ ) pari a 0,012  $m^2K/W$  e l'interasse pari a 8,0 cm, per la tabella,  $A_m = 1,0660$ . Inoltre, essendo lo spessore del massetto sopra i tubi pari a 50,0 mm,  $y = -0,5$ . Dunque, utilizzando la formula si ha:

$$F_m = A_m^y = 1,0660^{-0,5} = 0,9685$$

## FATTORE RELATIVO AL DIAMETRO ESTERNO DEL TUBO

Il suo valore può essere calcolato con la seguente formula:

$$F_D = A_D^z$$

dove il fattore  $A_D$  è determinabile con la tabella seguente e l'esponente  $z$  (per diametri compresi fra 0,010 e 0,030 m) è calcolabile con la relazione:

$$z = 250 \cdot (D_e - 0,020)$$

essendo:  $D_e$  = diametro esterno del tubo, m

<b>Valori del fattore <math>A_D</math></b>				
<b>Interasse (m)</b>	<b>Resistenza termica del pavimento (<math>m^2K/W</math>)</b>			
	<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>
<b>0,050</b>	1,013	1,013	1,012	1,011
<b>0,075</b>	1,021	1,019	1,016	1,014
<b>0,100</b>	1,029	1,025	1,022	1,018
<b>0,150</b>	1,040	1,034	1,029	1,024
<b>0,200</b>	1,046	1,040	1,035	1,030
<b>0,225</b>	1,049	1,043	1,038	1,033
<b>0,300</b>	1,053	1,049	1,044	1,039
<b>0,375</b>	1,056	1,051	1,046	1,042

Per il locale analizzato, essendo la resistenza termica del pavimento ( $R_p$ ) pari a 0,012  $m^2K/W$  e l'interasse pari a 8,0 cm, per la tabella,  $A_D = 1,021$ . Inoltre, essendo il diametro esterno del tubo pari a 12,0 mm,  $z = -2$ . Dunque, utilizzando la formula si ha:

$$F_D = A_D^z = 1,021^{-2} = 0,9593$$

Una volta trovati questi quattro valori, si può ricavare il parametro B, ovvero il fattore relativo alle caratteristiche del tubo.

Questo fattore può essere calcolato con la formula sotto riportata:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1,1}{\pi} \cdot F_p \cdot F_I \cdot F_m \cdot F_D \cdot I \cdot \left( \frac{1}{2\lambda_t} \ln \frac{D_e}{D_e - 2s_t} - \frac{1}{2\lambda_{t0}} \ln \frac{D_e}{D_e - 2s_{t0}} \right)$$

dove:

$B_0 = 6,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;

$s_{t0} = 0,002$  spessore, m;

$\lambda_{t0} = 0,350$  conducibilità termica, W/mK;

$F_p$  = fattore relativo alla resistenza termica del pavimento, adimensionale;

$F_I$  = fattore relativo all'interasse dei tubi, adimensionale;

$F_m$  = fattore relativo allo spessore del massetto sopra i tubi, adimensionale;

$F_D$  = fattore relativo al diametro esterno del tubo, adimensionale;

$I$  = interasse tubi, m;

$D_e$  = diametro esterno del tubo, m;

$\lambda_t$  = conducibilità termica del tubo, W/mK;

$s_t$  = spessore del tubo, m;

$\ln$  = logaritmo naturale.

andando a sostituire i dati si trova che:

$$B = 6,1574 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Il secondo passaggio consiste nel ricavarci la media logaritmica fra la temperatura del fluido e la temperatura ambiente ( $\Delta t$ ), applicando la formula inversa della (1.):

$$\Delta t = \frac{Q}{S \cdot B \cdot F_p \cdot F_l \cdot F_m \cdot F_D}$$

Si considera inoltre che nel locale analizzato non ci sia un unico pannello radiante, ma vengano realizzati sette pannelli di dimensioni uguali (come mostrato in figura); dunque, la potenza termica richiesta dal locale (2500 W) e la superficie del locale (36,22 m<sup>2</sup>) dovrà essere divisa per sette.

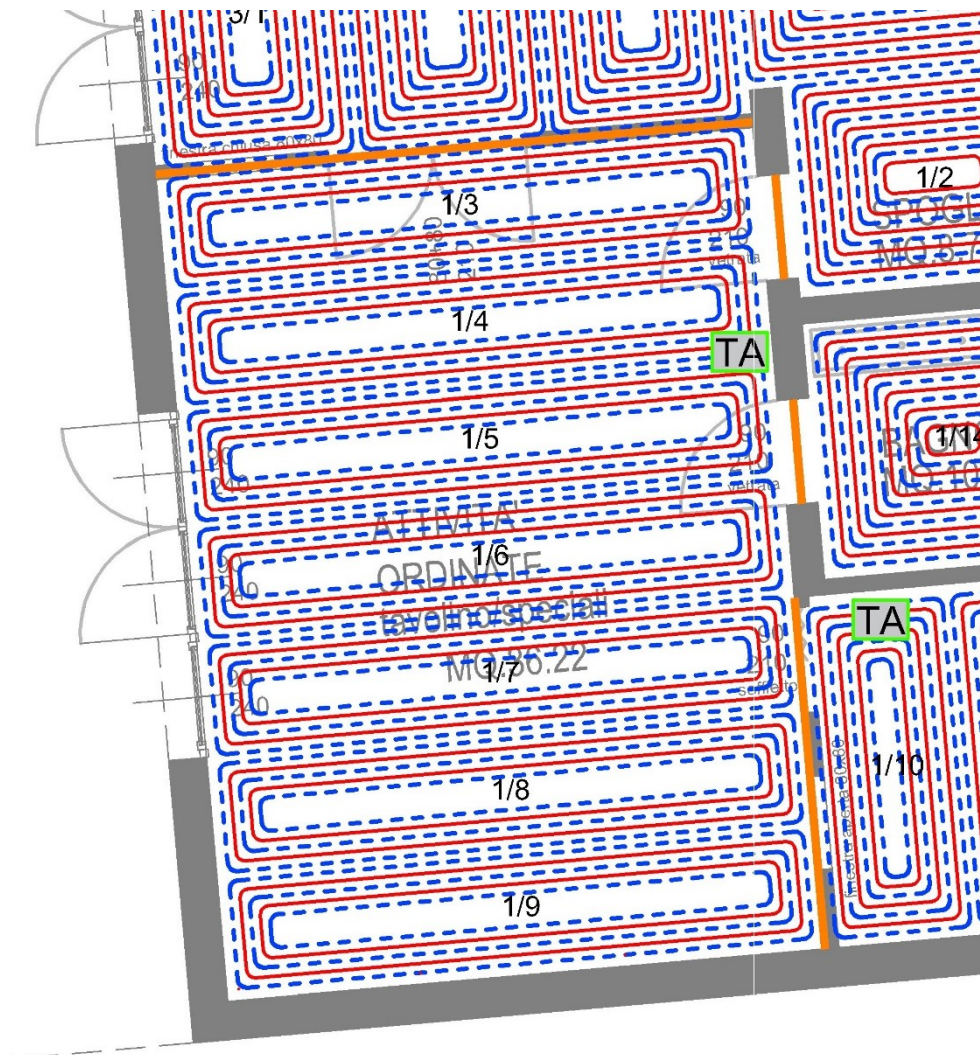


Figura 12

andando a sostituire i dati si ha:

$$\Delta t = \frac{(2500/7)}{(36,22/7) \cdot 6,1574 \cdot 1,058 \cdot 0,9863 \cdot 0,9685 \cdot 0,9593} = 11,49 \text{ K}$$

L'ultimo passaggio ci permette di trovare la temperatura di ritorno del fluido scaldante; ciò consiste nell'andare a sostituire nella formula (2.) un'ipotetica temperatura di ritorno, che ci permetta di avere  $\Delta t = 11,49 \text{ K}$ .

Si ipotizza  $t_u = 28,58^\circ\text{C}$ ; andando a sostituire alla (2.) si ha:

$$\Delta t = \frac{(t_e - t_u)}{\ln \frac{(t_e - t_a)}{(t_u - t_a)}} = \frac{(35 - 28,58)}{\ln \frac{(35 - 20)}{(28,58 - 20)}} = 11,49 \text{ K}$$

Dunque, possiamo affermare che la temperatura di ritorno del fluido scaldante è di  $28,58^\circ\text{C}$ .

Il valore trovato è compreso fra la temperatura di andata e quella ambiente; in questo caso il valore della temperatura di ritorno non pone (dal punto di vista teorico) alcun limite all'accettabilità della soluzione in esame.

Se il valore trovato sarebbe stato maggiore di quello di andata, allora il pannello non era in grado di emettere il calore richiesto, è cioè un terminale sottodimensionato.

Invece, se la temperatura di ritorno sarebbe stata inferiore a quella ambiente, allora il pannello partecipa solo parzialmente allo scambio termico con l'ambiente, è cioè un terminale superdimensionato.

## DETERMINAZIONE DELLA PORTATA

Una volta nota la temperatura di ritorno ( $t_u$ ), la portata del pannello si può calcolare con la formula sotto riportata:

$$G = \frac{Q}{(t_e - t_u) \cdot 1,16} \cdot \left[ 1 + \frac{\frac{1}{\alpha} + R_p + \frac{s_m}{\lambda_m}}{R_s} + \frac{S \cdot (t_a - t_s)}{Q \cdot R_s} \right]$$

dove:

$\alpha = 10,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;

$G$  = portata del pannello, l/h;

$Q$  = potenza termica richiesta, W;

$t_e$  = temperatura di entrata del fluido scaldante, °C;

$t_u$  = temperatura di uscita del fluido scaldante, °C;

$s_m$  = spessore del massetto, m;

$\lambda_m$  = conducibilità termica del massetto, W/mK;

$R_p$  = resistenza termica del pavimento, m<sup>2</sup>K/W;

$R_s$  = resistenza termica sotto pannello, m<sup>2</sup>K/W;

$S$  = superficie coperta dal pannello, m<sup>2</sup>;

$t_a$  = temperatura dell'aria ambiente, °C;

$t_s$  = temperatura del locale o del terreno sottostante, °C.

Andando a sostituire i dati, avremo che la portata per ognuno dei sette pannelli è pari a:

$$G = 54,04 \text{ l/h}$$

## DETERMINAZIONE DELLA LUNGHEZZA DEL PANNELLO

La lunghezza del pannello si calcola con la relazione:

$$L = L_a + \frac{S}{I}$$

dove:

$L$  = lunghezza del pannello, m;

$L_a$  = lunghezza di adduzione (andata e ritorno) fra il collettore e il pannello, m;

$S$  = superficie coperta dal pannello, m<sup>2</sup>;

$I$  = interasse del pannello, m.

Il primo passaggio consiste nel ricavarci la lunghezza di adduzione per ogni pannello. Per far ciò, ipotizziamo una disposizione come in figura dei tubi fra il collettore e i vari pannelli.

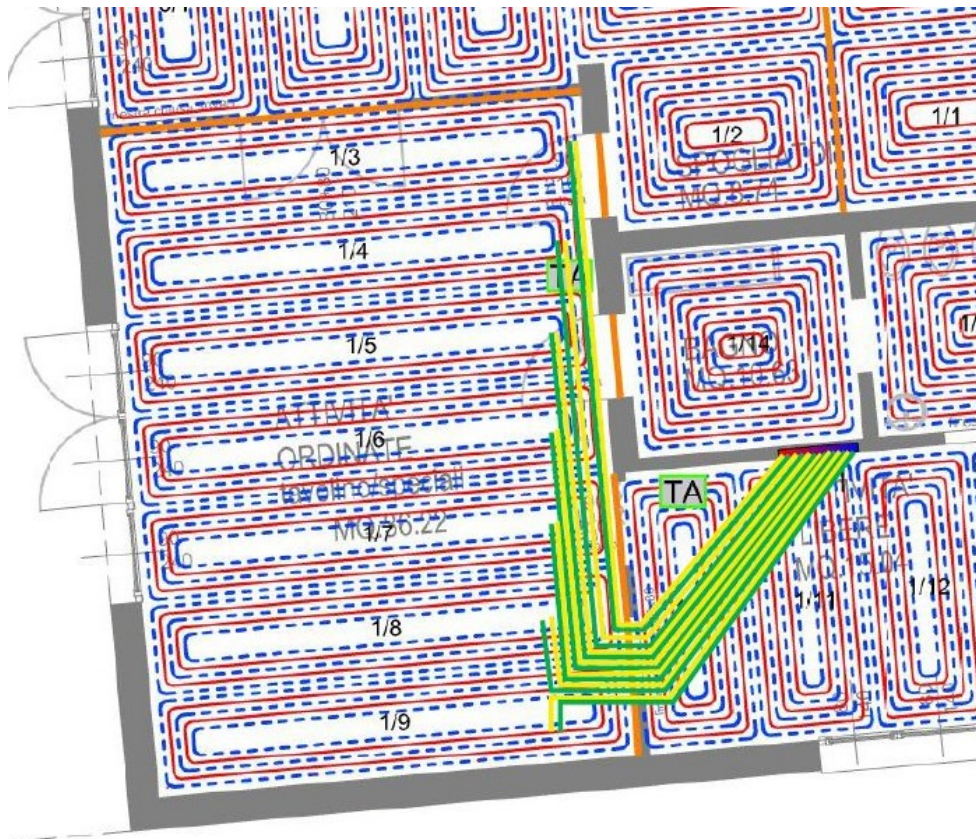


Figura 13

Nella tabella seguente viene riportata la lunghezza di adduzione per ogni pannello.

Lunghezza di adduzione - $L_a$		
Pannello 1/3	16	m
Pannello 1/4	14	m
Pannello 1/5	12	m
Pannello 1/6	10	m
Pannello 1/7	8	m
Pannello 1/8	6	m
Pannello 1/9	8	m



Una volta nota la lunghezza di adduzione, sapendo che la superficie del pannello è pari a  $5,17 \text{ m}^2$  e l'interasse dei tubi a  $8,0 \text{ cm}$ , possiamo calcolarci la lunghezza per ogni pannello.

<b>Lunghezza del pannello - L</b>		
Pannello 1/3	80,68	m
Pannello 1/4	78,68	m
Pannello 1/5	76,68	m
Pannello 1/6	74,68	m
Pannello 1/7	72,68	m
Pannello 1/8	70,68	m
Pannello 1/9	72,68	m

#### DETERMINAZIONE DELLE PERDITE DI CARICO DEL PANNELLO

Le perdite di carico totali di ogni pannello si calcolano sommando fra loro le perdite di carico continue e localizzate, il cui valore si determina come segue:

- le perdite di carico continue si calcolano moltiplicando la lunghezza del pannello per le perdite di carico unitarie;
- le perdite di carico localizzate si calcolano sommando fra loro le perdite di carico dovute:
  - alla valvola di intercettazione del pannello;
  - alle curve del pannello (mediamente queste perdite si considerano comprese fra il 20 e il 30% delle perdite di carico continue).

Analizziamo le perdite di carico continue.

Per prima cosa bisogna ricavarsi la perdita di carico unitaria ( $r$ ) riferita al tubo utilizzato. Il tubo come descritto nel capitolo 2.2, ha un fattore di ruvidità pari a 0,007, quindi abbiamo a che fare con un tubo a bassa rugosità. Questi tubi infatti vengono chiamati anche tubi lisci e comprendono sia i tubi in rame, sia i tubi in materiale plastico.

Per i tubi a bassa rugosità, la perdita di carico unitaria si può calcolare con la formula sotto riportata:

$$r = 14,68 \cdot \nu^{0,25} \cdot \rho \cdot \frac{G^{1,75}}{D^{4,75}}$$

dove:

$r$  = perdita di carico unitaria, mm c.a./m;

$\nu$  = viscosità del fluido,  $m^2/s$ ;

$\rho$  = densità del fluido,  $kg/m^3$ ;

$G$  = portata del condotto, l/h;

$D$  = diametro interno del condotto, m.

La viscosità e la densità del fluido si possono ricavare dalle tabelle, in particolare quando l'acqua si trova ad una temperatura di 30°C abbiamo che:

$$\nu = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/s$$

$$\rho = 995,4 \text{ kg}/m^3$$

Andando a sostituire i dati alla formula precedente si ha:

$$r = 14,68 \cdot (0,8 \cdot 10^{-6})^{0,25} \cdot 995,4 \cdot \frac{54,04^{1,75}}{9,4^{4,75}} = 11,23 \text{ mm c. a./m}$$

Trovata la perdita di carico unitaria si possono calcolare le perdite di carico continue per ogni pannello, facendo la moltiplicazione con la lunghezza del pannello.

<b>Perdite di carico continue</b>		
Pannello 1/3	906,01	mm c. a.
Pannello 1/4	883,55	mm c. a.
Pannello 1/5	861,09	mm c. a.
Pannello 1/6	838,63	mm c. a.
Pannello 1/7	816,17	mm c. a.
Pannello 1/8	793,71	mm c. a.
Pannello 1/9	816,17	mm c. a.

Adesso analizziamo le perdite di carico localizzate dovute alle valvole che si trovano nell'attacco tra il collettore e il pannello.

Questo tipo di perdita può essere calcolata con la seguente formula:

$$z = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2 \cdot 9,81}$$

dove:

$z$  = perdita di carico localizzata, mm c.a.;

$\xi$  = coefficiente di perdita localizzata, adimensionale;

$\rho$  = massa volumica del fluido, kg/m<sup>3</sup>;

$v$  = velocità media del flusso, m/s.

Il coefficiente  $\xi$  risulta dipendere soprattutto dalla forma della resistenza localizzata ed è, con buona approssimazione, indipendente da altri fattori, quali: il peso specifico, la viscosità e la velocità del fluido.

Il suo valore può essere determinato sia con formule (in casi a geometria semplice), sia sperimentalmente.

Nel nostro caso, considerando due valvole per corpi scaldanti di tipo a squadra, il coefficiente  $\xi$ , da tabella, è pari a 4.

Inoltre, bisogna calcolarsi la velocità media del fluido, per far ciò si ricorre alla formula della portata, quindi si ha:

$$v = \frac{G}{A}$$

dove:

G = portata del condotto, m/s;

A = area del condotto, m<sup>2</sup>.

Andando a sostituire i dati si ha:

$$v = 0,22 \text{ m/s}$$

Possiamo adesso trovare la perdita localizzata dovuta alle due valvole posizionate su ogni pannello:

$$z = \left( 4 \cdot 995,4 \cdot \frac{0,22^2}{2 \cdot 9,81} \right) \cdot 2 = 19,01 \text{ mm c. a.}$$

Andiamo adesso a calcolare le perdite localizzate dovute alle curve del pannello. Per semplicità si calcolò, queste perdite sono state valutate il 25% delle perdite di carico continue, si ha dunque:

<b>Perdite di carico localizzate dovute alle curve</b>		
Pannello 1/3	226,50	mm c. a.
Pannello 1/4	220,89	mm c. a.
Pannello 1/5	215,27	mm c. a.
Pannello 1/6	209,66	mm c. a.
Pannello 1/7	204,04	mm c. a.
Pannello 1/8	198,43	mm c. a.
Pannello 1/9	204,04	mm c. a.

Sommando tutte le perdite trovate, si ha le perdite di carico totale per ogni pannello.

<b>Perdite di carico totale</b>		
Pannello 1/3	1151,52	mm c. a.
Pannello 1/4	1123,44	mm c. a.
Pannello 1/5	1095,37	mm c. a.
Pannello 1/6	1067,29	mm c. a.
Pannello 1/7	1039,21	mm c. a.
Pannello 1/8	1011,14	mm c. a.
Pannello 1/9	1039,22	mm c. a.

## 2.4 Parametri da determinare

Oltre ai parametri determinati nel capitolo precedente, per un corretto e completo dimensionamento di un pannello si devono determinare i seguenti parametri:

- temperatura superficiale del pavimento;
- salto termico del fluido scaldante;
- prevalenza richiesta;
- velocità del fluido;
- potenza termica emessa dal pannello;
- potenza termica emessa verso il basso;
- potenza termica media emessa verso l'alto da un metro di tubo;
- potenza termica media emessa verso il basso da un metro di tubo.

### TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL PAVIMENTO

La temperatura superficiale del pavimento si calcola con la formula:

$$t_p = t_a + \left( \frac{q}{8,92} \right)^{\frac{1}{1,1}}$$

dove:

$t_p$  = temperatura superficiale del pavimento, °C;

$t_a$  = temperatura ambiente, °C;

$q$  = potenza termica specifica (verso l'alto) del pannello, W/m<sup>2</sup>.

Per evitare condizioni di malessere fisiologico, è necessario che la temperatura superficiale del pavimento sia inferiore a:

- 29°C in ambienti dove ci si sofferma in permanenza;
- 33°C in locali bagno, docce e piscine;
- 35°C in zone perimetrali o in locali dove si accede raramente.

Questi valori sono stati ricavati da quei parametri descritti nel capitolo 2.3, VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI BENESSERE FISILOGICO; e in particolare per locali con temperatura ambiente 20°C.

Infatti, si ha che:

$q_{max} = 8,92 \cdot (29 - 20)^{1,1} = 100 \text{ W/m}^2$  in ambienti dove ci si sofferma in permanenza;

$q_{max} = 8,92 \cdot (33 - 20)^{1,1} = 150 \text{ W/m}^2$  in locali bagno, docce e piscine;

$q_{max} = 8,92 \cdot (35 - 20)^{1,1} = 175 \text{ W/m}^2$  in zone perimetrali o in locali dove si accede raramente.

Andando a sostituire i dati per il nostro locale analizzato si ha che:

$$t_p = 20 + \left( \frac{\frac{2500}{36,22}}{8,92} \right)^{\frac{1}{1,1}} = 26,39^\circ\text{C}$$

Dunque, abbiamo verificato che la temperatura è al di sotto del limite di 29°C e il pannello dimensionato è accettabile.

#### SALTO TERMICO DEL FLUIDO SCALDANTE

Il salto termico è dato dalla differenza fra la temperatura di entrata e quella di uscita del fluido scaldante.

È consigliabile che il suo valore non sia troppo elevato per:

- non abbassare troppo la temperatura media del fluido e quindi la resa termica del pannello;
- evitare temperature superficiali troppo diverse fra loro, specie quando i pannelli sono a serpentine.

Di norma è consigliabile adottare salti termici inferiori a  $8 \div 10^{\circ}\text{C}$ .

Nel nostro caso avendo una temperatura di entrata di  $35^{\circ}\text{C}$  e una di uscita di  $28,58^{\circ}\text{C}$ , il salto termico risulta essere pari a  $6,42^{\circ}\text{C}$ . Dunque, questo valore è accettabile.

## VELOCITÀ DEL FLUIDO

La velocità del fluido è un parametro molto importante, poiché non deve essere né troppo elevata, né troppo bassa.

Se la velocità fosse elevata si avrebbe:

- rumorosità nelle tubazioni;
- perdite di carico elevate.

Invece se la velocità fosse troppo bassa si avrebbe:

- il ristagno di bolle d'aria;
- un possibile flusso laminare (ciò non va bene poiché le formule utilizzate sono valide solo in regime turbolento).

Normalmente sono accettabili velocità superiori a  $0,1 \text{ m/s}$ .

Nel nostro caso la velocità, che abbiamo calcolato nel capitolo 2.3, **PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE**; risulta essere pari a  $0,22 \text{ m/s}$  e perciò è un valore accettabile.



## POTENZA TERMICA TOTALE EMESSA DAL PANNELLO

Questo parametro può essere determinato con la relazione:

$$Q_t = (t_e - t_u) \cdot G \cdot 1,16$$

dove:

$Q_t$  = flusso di calore totale emesso da un pannello, W;

$t_e$  = temperatura di entrata del fluido scaldante, °C;

$t_u$  = temperatura di uscita del fluido scaldante, °C;

$G$  = portata del pannello, l/h.

Essendo i sette pannelli analizzati tutti uguali e avendo gli stessi parametri, per ogni pannello si ha:

$$Q_t = (35 - 28,58) \cdot 54,04 \cdot 1,16 = 402,44 \text{ W}$$

## POTENZA TERMICA EMESSA VERSO IL BASSO

Questa potenza si determina come differenza fra la potenza termica totale e quella ceduta verso l'alto dal pannello.

Si ha dunque per ogni pannello:

$$Q_b = Q_t - Q = 402,44 - 357,14 = 45,30 \text{ W}$$

#### POTENZA TERMICA MEDIA EMESSA VERSO L'ALTO DA UN METRO DI TUBO

Si calcola dividendo la potenza termica emessa verso l'alto dal pannello per la sua lunghezza. Ciò serve anche a determinare l'apporto di calore dei tubi di adduzione ai locali da essi attraversati.

$$\frac{Q_t}{L} = 4,72 \text{ W/m}$$

#### POTENZA TERMICA MEDIA EMESSA VERSO IL BASSO DA UN METRO DI TUBO

Si calcola dividendo la potenza termica emessa verso il basso dal pannello per la sua lunghezza. Ciò serve anche a determinare l'apporto di calore dei tubi di adduzione ai locali sottostanti.

$$\frac{Q_b}{L} = 0,63 \text{ W/m}$$

## Conclusione

Il dimensionamento dei pannelli radianti per il locale analizzato può essere considerato concluso, una volta trovati tutti questi parametri.

Per terminare il progetto dell'impianto di riscaldamento dell'intera struttura sarà necessario applicare tale procedimento per tutti i rimanenti locali che si vogliono riscaldare, partendo dal calcolo del fabbisogno termico per ogni locale e il successivo dimensionamento del pannello.

Esclusivamente in seguito possono essere dimensionati i collettori, la rete di distribuzione e la sorgente di calore.

Attraverso quest'ultimi aspetti, si potrà verificare l'accettabilità della prevalenza richiesta e la prevalenza di zona.

Si precisa anche che i passaggi precedentemente descritti, al giorno d'oggi, vengono gestiti da software appositi, come ad esempio "CHD – Caleffi Hydronic Design" della Caleffi Spa o il plug-in "Uponor UFH Revit" della Uponor, i quali permettono di creare un progetto completo, compreso di disegno tecnico e calcolo dei vari parametri, basandosi sulla norma UNI EN 1264. Il programma, inserendo i dati della struttura e scegliendo tra i vari componenti commerciali (pannelli radianti, valvole, tubazioni, ecc...), sarà in grado di calcolare e verificare tutti i parametri richiesti dalla norma e di realizzare anche delle distinte di materiali.

L'osservazione dei parametri ricavati evidenzia inoltre, una buona prestazione energetica della struttura. Il raggiungimento di questo obiettivo è attribuibile ad un'attenta progettazione in campo edile, la quale consiste nell'utilizzo di materiali isolanti molto prestazionali per il rivestimento delle superfici disperdenti.

Seppur infatti, si utilizzassero impianti molto efficienti (come i pannelli radianti) in una struttura caratterizzata da un isolamento termico inefficace, non si avrebbero i medesimi risultati trovati.

Dunque, l'applicazione dei pannelli radianti non è consigliata in tutti gli edifici. Considerando ad esempio una ristrutturazione, non è detto che l'utilizzo dei pannelli radianti porti ad un efficientamento energetico, bensì si può andare in contro alla realizzazione di un impianto non correttamente dimensionato, portando quindi al mancato raggiungimento del principale vantaggio dei pannelli, ovvero il risparmio economico. In questi casi conviene ricorrere agli impianti tradizionali per avere una buona prestazione energetica.

## **Bibliografia**

*Climatizzazione radiante – Catalogo Tecnico*. Sacile: Rdz Spa

Doninelli, M. – *Gli impianti a collettore*. Quaderni Caleffi

Doninelli, M. – *Gli impianti a pannelli radianti*. Quaderni Caleffi

Doninelli, M. – *I circuiti e i terminali degli impianti di climatizzazione*.  
Quaderni Caleffi

Doninelli, M. – *Le reti di distribuzione*. Quaderni Caleffi

Norme consultate:

- UNI 10349
- UNI EN 1264-1
- UNI EN 1264-2
- UNI EN 1264-3
- UNI EN 1264-4
- UNI EN 1264-5
- UNI EN 12831
- UNI TS 11300-1
- UNI TS 11300-2
- UNI TS 11300-3

## **Ringraziamenti**

A conclusione di questa tesi, desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato e sostenuto durante il mio percorso universitario.

In primis, un ringraziamento speciale al mio relatore Di Perna, per la sua immensa pazienza, la sua infinita disponibilità e tempestività ad ogni mia richiesta. Grazie per avermi fornito ogni materiale utile alla realizzazione di questo elaborato.

Grazie a mia madre, a mio padre e a mia sorella che mi hanno aiutato a superare i momenti più difficili e che mi hanno dato la possibilità di intraprendere questo percorso universitario.

Grazie alle nonne, ai nonni, alle zie, agli zii e alle cugine che si sono sempre interessati ai miei studi, dandomi la forza di andare avanti.

Grazie ai miei colleghi di studio, per tutte le volte che mi hanno aiutato, ma soprattutto per aver condiviso insieme le gioie e le fatiche della vita universitaria.

Grazie ai miei amici per essere stati sempre presenti. A voi un ringraziamento speciale per aver ascoltato i miei sfoghi e per tutti quei momenti di spensieratezza che mi avete regalato.

Infine, dedico questo obiettivo a me stesso, ai miei sacrifici e alla mia tenacia che mi hanno permesso di arrivare fin qui.

Grazie infinite a tutti voi.